

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Факультет електроніки

Кафедра електронних приладів та пристроїв

«На правах рукопису»
УДК 681.3.06

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____ Л. Д. Писаренко

« ____ » _____ 2019 р.

Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра

зі спеціальності 171 Електроніка

на тему:

**«Системи мобільного зв'язку типу GSM. Панельна антена для
для GSM станцій»**

Виконав:

Студент II курсу, гр. ДЕ-81мп
Коломієць Юрій Андрійович

Керівник:

Професор кафедри ЕП та П, д.т.н.
Мельник І.В.

Консультант

Доцент кафедри ЕП та П, к.т.н.
Чадюк В.О.

Рецензент:

Доцент кафедри ЕІ, к.т.н.
Татарчук Д.Д.

Засвідчую, що у цій магістерській роботі
немає запозичень з праць інших авторів
без відповідних посилань.

Студент _____
(підпис)

Київ-2019 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Факультет електроніки
Кафедра електронних приладів та пристроїв

Ступінь вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-професійною програмою

Спеціальність (спеціалізація) – 171 Електроніка (Електроні прилади та пристрої)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Л.Д. Писаренко

«__» _____ 2019 р.

ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту
Коломійцю Юрію Андрійовичу

1. Тема роботи «Системи мобільного зв'язку типу GSM. Панельна антена для GSM станцій»

Керівник роботи Мельник Ігор Віталійович , професор, д.т.н.

затверджені наказом по університету від «07» листопада 2019 р. № три859-с

2. Термін подання студентом дисертації : «__» _____ 2019 р.

3. Вихідні показники до роботи: Огляд різнотипів конструкцій та принципів роботи системи мобільного зв'язку, дослідження та розрахунок основних параметрів та характеристик для побудови лінії мобільного зв'язку типуLTE, розрахунок панельної антени БС для діапазону частот 2,1 ГГц-2,7 ГГц

4. Перелік завдань, які потрібно розробити: Анотація; вступ; огляд науково-технічної літератури по системі мобільного зв'язку; модуль-схеми мобільної станції; параметри каналу зв'язку; методики інженерного розрахунку параметрів для побудови лінії мобільного зв'язку типуLTE; опис антен базових станцій мобільного зв'язку та рохрахунок панельної антени; список науково-технічної літератури.

5. Перелік ілюстративного матеріалу: іл. 23, табл. 11, креслень 5.

6. Дата видачі завдання : _____ 2019р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів виконання дипломної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Огляд науково-технічної літератури по системам мобільного зв'язку	02.09.2019	
2	Теоретична частина (що містить фізико- математичне моделювання пристрою)	15.09.2019.	
3	Розрахунок основних параметрів та характеристик для побудови лінії мобільного зв'язку типу LTE	08.10.2019	
4	Розрахунок панельної антени мобільної станції для діапазону частот 2,1-2,7 ГГц	24.10.2019	
4	Моделювання панельної антени	15.11.2019	
5	Оформлення графічної частини, пояснювальної записки, плакатів, підготовка доповіді	05.12.2019	

Студент гр. ДЕ-81мп

Ю.А. Коломієць

Керівник роботи

І.В. Мельник

Пояснювальна записка до магістерської дисертації

на тему: **«Системи мобільного зв'язку типу GSM. Панельна антена для GSM станцій»**

Київ – 2019 року

РЕФЕРАТ

Системи мобільного зв'язку типу GSM. Панельна антена для GSM станцій / Магістерська робота напряму підготовки **6.050802 – «Електронні пристрої та системи»** спеціалізації **«Електронні прилади та пристрої»**. **Коломієць Юрій Андрійович.** «КПІ ім. Ігоря Сікорського». Факультет електроніки, кафедра електронних приладів та пристроїв. Група ДЕ-81мп. – К.: «КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2019. – 86 с., іл. 23, табл. 11, креслень 5, складальне креслення, специфікація.

Ключові слова: ССЗ – система мобільного зв'язку, МС – МС, БС – базова станція, КЗ – канал зв'язку, ЦК – центр комутації, ПП – підсилювач потужності.

Короткий зміст роботи: Дана дипломна робота присвячена дослідженню системи мобільного зв'язку, в ній представлено результати інженерних розрахунків основних параметрів та характеристик для побудови лінії мобільного зв'язку типу LTE та моделювання панельної антени для базової мобільної станції зв'язку.

У вступі визначена основне завдання роботи і показана її актуальність. Огляд системи мобільного зв'язку представлений в аналізі літератури, її основні параметри та характеристики, та підтверджена перспективність їх розробки. В теоретичній частині приведені основні існуючі види систем мобільного зв'язку та принципи їх роботи. В розділі інженерних розрахунків приведені підсумки розрахунку параметрів та характеристик для побудови лінії мобільного зв'язку типу LTE та моделювання панельної антени для базової мобільної станції зв'язку.

АНОТАЦІЯ

Дана дипломна робота присвячена дослідженню фізико-математичної моделі системи мобільного зв'язку, в ній представлено результати інженерних розрахунків параметрів та характеристик для побудови лінії мобільного зв'язку типу LTE та моделювання панельної антени для базової мобільної станції зв'язку.

Робота складається із вступу, аналізу літератури, теоретичної частини, методики інженерних розрахунків, конструкторсько-технологічної частини та висновків. У вступі сформульована головна задача роботи і показана її актуальність. В аналізі літератури представлений огляд системи мобільного зв'язку, її основні параметри та характеристики, та підтверджена перспективність їх розробки. В теоретичній частині приведені принцип дії мобільної станції, її модуль-схема та п-три каналу зв'язку. В розділі інженерних розрахунків приведені та результати розрахунку параметрів та характеристик для побудови лінії мобільного зв'язку типу LTE та моделювання панельної антени для базової мобільної станції зв'язку.

S U M M A R Y

This diploma thesis is devoted to the study of physical and mathematical model of mobile communication system, it presents the results of engineering calculations of parameters and characteristics for the construction of a mobile communication line type LTE and simulation of a panel antenna for the base mobile communication station.

The work consists of introduction, analysis of literature, theoretical part, method of engineering calculations, design and technological part and conclusions. The introduction sets out the main task of the work and shows its relevance. The literature review provides an overview of the mobile communications system, its basic parameters and characteristics, and the prospects for their development. The theoretical part describes the principle of operation of a mobile station, its module-schema and communication channel parameters. The engineering section also gives you the results of calculating the parameters and specifications for building a LTE mobile communication line and simulating a panel antenna for the mobile base station.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ ТА СКОРОЧЕНЬ	11
В С Т У П	12
1. ОГЛЯД НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ ПО СИСТЕМАМ МОБІЛЬНОГО ЗВ'ЯЗКУ.....	14
1.1. Функціональна система і її складові.....	14
1.1.1. Функціональна схема.....	14
1.1.2. Мобільна станція.....	15
1.1.3. Базова станція мобільної системи зв'язку.....	17
1.1.4. Центр комутації.....	18
Висновки.....	18
1.2. Ефірний інтерфейс.....	19
1.2.1. Інтерфейси мобільного зв'язку і їх стандартизація.....	19
1.2.2. Ефірний інтерфейс системи D-AMPS.....	19
1.2.3. Ефірний інтерфейс системи GSM.....	20
Висновки.....	22
1.3. Організація роботи системи мобільного зв'язку.....	23
1.3.1. Частотні, фізичні і логічні канали.....	23
1.3.2. Ініціалізація та встановлення зв'язку.....	26
1.3.3. Аутентифікація та ідентифікація.....	28
1.3.4. Обмін сервісу.....	29
1.3.5. Роумінг.....	30
1.3.6. Можливості мобільного зв'язку.....	31
Висновки.....	32
1.4. Методи множинного доступу.....	33
1.4.1. Варіанти множинного доступу.....	33
1.4.2. Множинний доступ з частотним розділенням.....	33
1.4.3. Множинний доступ з часовим розділенням.....	33
1.4.4. Множинний доступ з кодовим розділенням.....	33
1.4.5. Шляхи підвищення ємності системи мобільного зв'язку.....	3
Висновки.....	35

					МРП.171.081.006 ПЗ				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					
Розроб.		Коломісць Ю. А.			Системи мобільного зв'язку типу GSM. Панельна антена для для GSM станцій Пояснювальна записка	Літ.	Арк.	Аркушів	
Перевір.		Мельник І.В..					9	86	
Реценз.		Татарчук Д.Д.				КПІ ім. І.Сікорського Гр. ДЕ-81мп			
Н. Контр.		Чадюк В.О.							
Затверд.		Писаренко Л.Д.							

1.5.	Цифрова обробка сигналів.....	37
1.5.1.	Роль і побудова цифрової обробки. Характеристики мовленнєвих сигналів...	37
1.5.2.	Аналогово-цифрове перетворення.....	37
1.5.3.	Шифрування мовлення.....	38
	Висновки.....	44
1.6.	Боротьба з впливом багатопроменевого розповсюдження.....	46
1.6.1.	Багатопроменеве розповсюдження і його прояви.....	46
1.6.2.	Рознесений прийом.....	47
1.6.3.	Еквалайзинг.....	48
	Висновки.....	50
2.	ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА.....	51
2.1.	Блок-схема мобільної станції.....	51
2.2.	Мобільний зв'язок типу LTE.....	56
2.2.1.	Структура мережі типу LTE.....	56
2.2.2.	Організація інформаційних каналів.....	57
2.3.	Характеристики каналу зв'язку.....	57
2.4.	Панельна антена для БТС	62
	Висновки.....	63
3.	РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА.....	64
3.1.	Розрахунок основних параметрів лінії мобільного зв'язку типу LTE	64
3.2.	Моделювання панельної антени для GSM станцій з ємнісним живленням	69
	Висновки.....	72
4.	РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЕКТУ	73
4.1.	Опис ідеї проекту	73
4.2.	Технологічний аудит проекту	74
4.3.	Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту	75
	В И С Н О В К И	76
	ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНОЇ НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	78
	ДОДАТКИ	80

					МРП.171.081.006 ПЗ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розробник		Коломісць Ю. А.			Системи мобільного зв'язку типу GSM. Панельна антена для для GSM станцій Пояснювальна записка	Літ.	Арк.
Керівник		Мельник І.В.					10
Рецензент		Татарчук Д.Д.					86
Н. Контр.		Чадюк В.О.				КПІ, ФЕЛ, ДЕ-81мп	
Затверд.		Писаренко Л.Д.					

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ І СКОРОЧЕНЬ

МЗ -	мобільний зв'язок
СМЗ -	система мобільного зв'язку
БС -	базова станція
МС -	МС
ЦК -	центр комутації
Пм -	приймач
Пд -	передавач
КЗ -	канал зв'язку
АЦП-	аналого-цифровий перетворювач
ЦАП-	цифро-аналоговий перетворювач
ЕІ -	ефірний інтерфейс
ЧК -	частотний канал
ФК -	фізичний канал
ЛК -	логічний канал
ТК -	транспортний канал
Чк -	частотний маніпулятор
ПНЧ-	підсилювач нижніх частот
ЗМ -	змішувач
Ф -	фільтр
ПП -	підсилювач потужності
СЧ -	синтезатор частот
ЛЗ -	лінія зв'язку
Кн -	канал

					МП.171.081.006 ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вступ

Телефонний зв'язок зараз — це одна з успішних та розвинених областей радіозв'язку. Велика кількість людей використовує мобільні телефони як звичайні та необхідні засоби зв'язку.

Зростання популярності телефонів протягом останніх двадцяти років доказує, що існує величезний попит мобільний зв'язок. І в цьому плані мобільний телефонний зв'язок — один з найбільш конкурентноздатних. Телефонія переживає зараз справжній бум, а мобільні телефони стали одними з найбільш поширених засобів зв'язку. Число клієнтів стільникових мереж збільшується кожний місяць на 100 тисяч.

Зараз людину не можливо представити без користування мобільним сервісом, основні плюси якого: компактність, просте використання, висока швидкість і зручність, відносно дешевизну, наявність SMS та MMS та додаткові можливості.

Актуальність теми. Ринок послуг зв'язку в даний час є одним з ринків, що найбільш активно розвиваються. Розвиток галузі мобільного зв'язку пов'язаний з швидким зростанням кількості клієнтів та якістю послуг, що надаються. З точки зору абонентів, ступінь якості послуги мобільного зв'язку є основним фактором при прийнятті рішення щодо її покупки. Клієнти будуть привітні до мобільного оператора тільки тоді, коли послуга відповідає їхнім потребам.

Зростання конкуренції, пов'язане з ростом економіки і зростанням бажань клієнтів, ставить перед компаніями-операторами більш складне завдання.

Щоб бути конкурентоспроможними оператори спрямовують основні сили на поліпшення якості і сервісу для клієнтів в мережі через використання спеціальних програм лояльності, покращують обладнання своїх БТС, застосовуючи складові з більш потужнішими параметрами.

Робота операторів по задоволенню бажань клієнтів є успішною, якщо вона здатна співставити свої технічні можливості з результатами аналізу запитів абонентів. Компаніям мобільного зв'язку необхідно завжди слідкувати за вимогами та запитамі клієнтів. З цією метою компанія повинна:

- оцінювати ступінь задоволеності клієнтів продуктами або послугами;
- усувати недоліки й дефекти в момент їх виявлення;
- вдосконалювати якість послуг.

Сьогоднішній рівень розвитку ринку послуг мобільного зв'язку виносить проблему покращення методики оцінки якості даних послуг, яка визначає рівень реалізації переваг компаній, що надають зв'язок.

Отже, актуальність теми дипломної роботи полягає в тому що, з одного боку, існує велика зацікавленість клієнтів в отриманні нових послуг, а з іншого, величезна конкуренція підштовхує операторів постійно вносити нові пропозиції на даний ринок. Сучасний ступінь розвитку послуг мобільного зв'язку, зміни у видах надання сервісу, зростання обсягу інформації, яка поширюється в мережах стільникового зв'язку, надали проблему удосконалення рівня послуг зв'язку та визначили напрямки для подальшого розвитку цієї галузі.

					МП.171.081.006 ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Метою дипломної роботи є вивчення процесу будови мобільного зв'язку та надання послуг, аналіз якості мольного зв'язку, розробка шляхів щодо їхнього поліпшення. Щоб досягнути бажаного результату, треба вирішити наступні **завдання**:

- проаналізувати будову мобільного зв'язку, основні аспекти його нормального функціонування та промлеми, які виникають при застосуванні послуг;
- розглянути питання нового покоління зв'язку, а саме мобільного зв'язку типу LTE;
- розрахувати п-три та характеристики для побудови лінії мобільного зв'язку типу LTE;
- рорахувати панельну антену GSM для частоти 2,1 – 2,7 ГГц.

Об'єктом дослідження є система мобільного зв'язку.

Предметом дослідження – п-три лінії мобільного зв'язку та панельна антена.

Наукова новизна роботи. Розрахунок параметрів лінії мобільного зв'язку, обчислення основних параметрів планованої мережі LTE, обчислення кількості клієнтів та моделювання панельної антени для БТС.

Практична цінність роботи полягає у можливості реалізації системи, що відповідає розрахованим параметрам та вдосконалення антен для БТС.

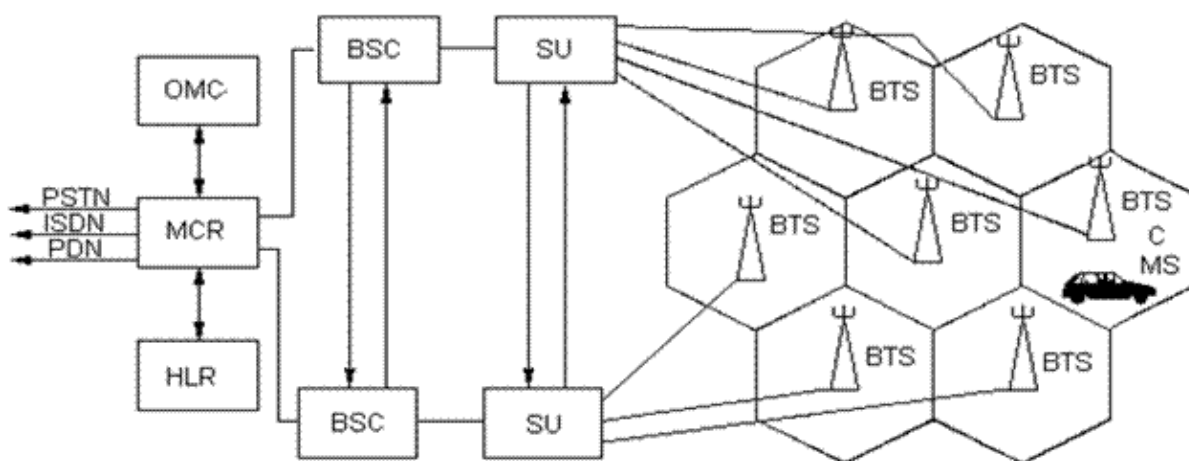
					МП.171.081.006 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

1. ОГЛЯД НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ ПО СИСТЕМАМ МОБІЛЬНОГО ЗВ'ЯЗКУ

1.1 Функціональна система і її складові

1.1.1 Функціональна схема

Система мобільного зв'язку (СМЗ) будується в вигляді сукупності територій. Територію зазвичай схематично зображають у вигляді рівновеликих правильних багатогранників (зазвичай шестикутні) (рис.1.1). Така будова системи на пряму має відношення до повторного використання частот - головне правило мобільної системи, що визначає ефективне використання виділеного діапазону частот і високу системну ємність. БС знаходиться у центрі кожного шестикутника (рис.1.1), що обслуговує всі МС в межах свого осередку. При переміщенні клієнта з однієї комірки в іншу відбувається обмін його сервісу від однієї БС до іншої. Всі БС системи, в свою чергу, замикаються в центрі комутації (ЦК), з якої мають вихід у телефонну мережу заг. використання (рис.1.1).



MS – МС	OMC – центр контролювання та сервісу
BTS – БС	DB – база даних
SU – девайс вибору кадру	PSTN – телефона мережа заг. використання
MSC – центр комутації рухомого зв'язку	ISDN – цифрова мережа з інтеграцією служб
BSC – контролер БС	PDN – мережа пакетної комутації

Рис.1.1. Типова схема мобільної системи зв'язку

Перш за все, в дійсності територію ніколи не бувають строгої геометричної форми. Реальні кордони осередків мають вигляд неправильних форм, що залежать від принципів поширення і згасання радіохвиль, тобто від ландшафту території, характеру і щільності рослинності і забудови та тому подібних факторів.

Далі, система мобільного зв'язку може включати більше 1-го ЦК, що зумовлено розвитком системи або ємністю перемикача.

У простій ситуації система містить 1 ЦК, при якому є домашній регістр, і вона обслуговує невелику закриту територію, з якою не межують ділянки, які обслуговують другі оператори. Якщо територія обслуговування більша, то система може містити 2 або більше ЦК. В обох цих випадках при пересуванні клієнта між осередками однієї системи відбувається обмін сервісу, а при переміщенні на ділянку іншої системи - роумінг. Нарешті, якщо ділянка дуже велика, на його території може виявитися кілька систем, які межують ділянками, кожна система - зі своїм домашнім регістром. У такому випадку при

переміщенні клієнта з однієї системи в іншу може мати місце і так звана міжсистемний обмін сервісу. Як для роумінгу, так і для міжсистемної перенесені сервісу необхідна апаратурна сумісність систем (приналежність їх до 1-го і того ж типу мобільного зв'язку), а також наявність відповідних угод між операторами.

Ще одна ознака пов'язана з побудовою БС. У типі GSM застосовується поняття система БС, до якої входить контролер БС і кілька, наприклад до шістнадцяти, базових приймально-передавальних станцій.[1]

1.1.2 Мобільна станція

Розгляд складових системи мобільного зв'язку почнемо з МС - найбільш простого по функціональному призначенню пристрою, до того ж єдиному елементу системи, який не тільки реально доступний клієнтові, але і знаходиться у нього в руках в буквальному сенсі цього слова.

Модуль-схема МС наведена на рис.1.2 До її складу входять:

- модуль контролювання;
- Пм модуль;
- антенний модуль.

Приймальний модуль, в свою чергу, має Пд, Пм, синтезатор частот і логічний модуль.

Найбільш простий за складом антенний модуль: він має антену - в найпростішому випадку чвертьхвильовий штир - і перемикач на прийом-перенесення. Останній для цифрової станції може являти собою електронний перемикач, який підключає антену або на вихід Пда, або на вхід Пма, оскільки, як буде зрозуміло далі, МС цифрової системи ніколи не працює на прийом і перенесення одночасно.

Функціонально нескладний і модуль управління. Він має мікротелефонну трубку - мікрофон і динамік, клавіатуру і дисплей. Клавіатура (поле для набору з цифровими і функціональними клавішами) служить для набору номера телефону клієнта, якого ми викликаємо, а також команд, що визначають режим роботи МС. Дисплей відображає необхідну інформацію.

Приймальний модуль значно складніший.

До складу Пд входять:

- аналого-цифровий перетворювач (АЦП) - трансформує аналогову інформацію в цифрову
- кодер мови здійснює шифрування сигналу мовлення - трансформування сигналу, що має цифрову форму, по визначеним законам з метою зменшення обсягу інформації, що передається по Кн зв'язку;
- кодер Кн - додає додаткову (надлишкову) інформацію, призначену для захисту від помилок при перенесенні сигналу по лінії зв'язку;
- модулятор - здійснює транспортування інформації кодованого відеосигналу на несучу частоту.

					МП.171.081.006 ПЗ	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

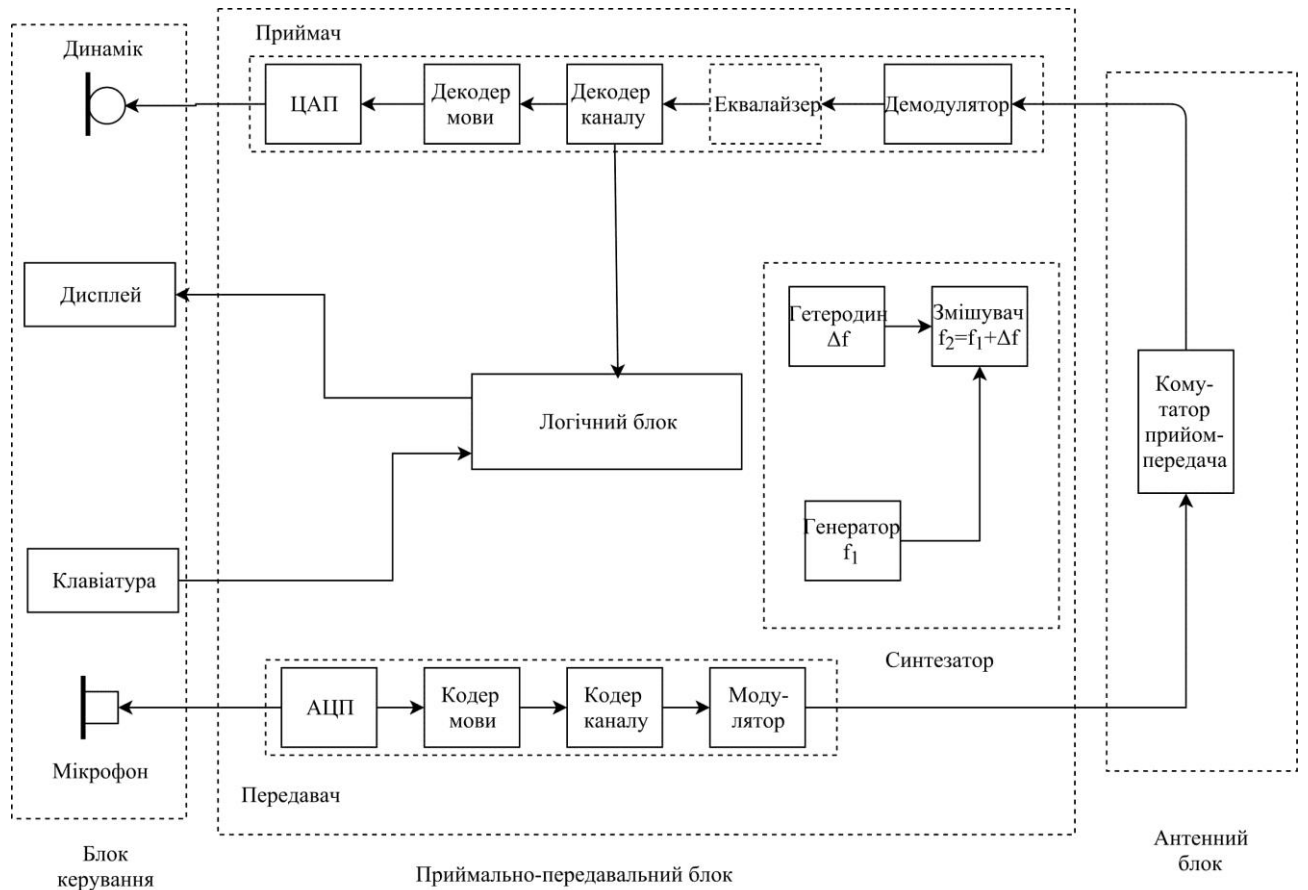


Рис.1.2. Модуль-схема МС

Пм за складом в основному співпадає з Пдем, але з зворотними функціями. До його складу входять:

- демодулятор - знаходить кодований сигнал, що несе інформацію;
- декодер Кн - визначає з потоку основну інформацію і перенаправляє її на модуль логіки; ця інформація перевіряється на помилки, і ці помилки корегуються;
- декодер мовлення - відновлює сигнал, який приходить з кодера Кн, змінюючи його в натуральну форму, з властивою йому надлишковістю, але у форматі цифри;
- ЦАП - передає отриманий сигнал в аналогову форму;
- еквалайзер компенсує спотворень сигналу внаслідок всюдипроменевого розповсюдження;

Зауважимо, що для поєднання кодера і декодера іноді використовують найменування кодек (наприклад, мовний кодек).

Крім власне Пда і Пма, до приймально-передавального модулю входять логічний модуль і синтезатор частот. Логічний модуль – це комп'ютер, який керує МС. Синтезатор здійснює коливання несучої частоти, що застосовується для перенесені інформації через радіоканал. Наявність логічного модулю і перетворювача частоти обумовлено тим, що для перенесені і прийому використовуються різні ділянки спектру. [5]

1.1.3 Базова станція мобільної системи зв'язку

Складові БС за призначенням майже не відрізняються від складових МС. Першою ознакою БС є приймання інформації, яка рознесена в просторі та за частотою (рис.1.3). на прийом потрібно 2 антени.

Другою ознакою структури БС є наявність декількох Пм і такої ж кількості Пд, що дозволяє працювати на декількох Кн із різними частотами. Однйменні Пм й Пд оснащені загальними опорними генераторами, які забезпечують їх узгоджену перебудову під час переходу з Кн на Кн. Модуль з'єднання БС — це комп'ютер, який керує роботою БС і контролюють дієздатність її складових, модулів, вузлів. Надійності досягають резервуванням складових і вузлів, застосуванням автономних джерел живлення, девайсів охолодження. [6]

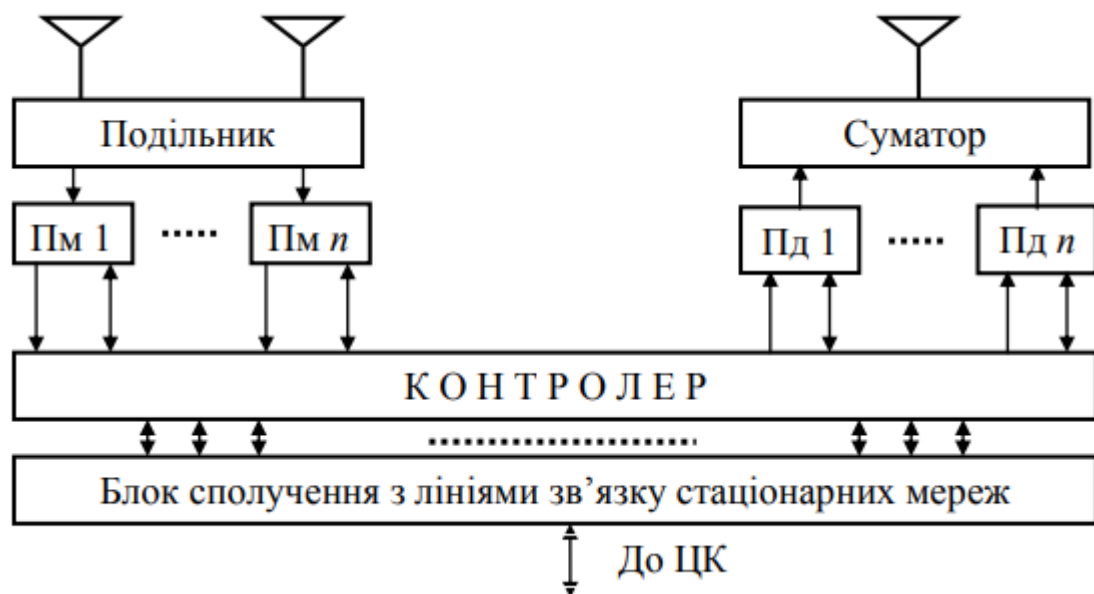


Рис.1.3. Структурна схема БС

1.1.4 Центр комутації

ЦК — це пункт, до якого приходить потокова інформація від кожної БС, і він має з'єднання з іншими мережами. ЦК — це система контролю (рис.1.4).

Перемикач здійснює комутацію потоків інформації між відповідними лініями зв'язку. Перемикач підключений до ліній зв'язку через відповідні контролери, які здійснюють попередню обробку (упаковку, буферне зберігання) інформації. Функцію загального контролювання виконує центральний контролер, який має потужне математичне забезпечення. Оператори вводять показники про клієнтів і умови їх сервісу, первинні показники за режимами роботи системи; за необхідності видають команди.

Основні системні складові:

- реєстр «домашній» (Home location Register, HLR) — інформація про клієнтів, зареєстрованих у показниковій системі, й про види послуг, які вони можуть отримати, місцеположення клієнта;
- реєстр «гість» (Visitor Location Register VLR) — такі ж відомості, як у домашньому реєстрі, але про клієнтів, які перебувають у роумінгу;

- центр аутентифікації (Authentication Center), що забезпечує процедури аутентифікації (встановлення прав клієнта на використання мобільної мережі);
- реєстр апаратури (реєстр ідентифікації апаратури (Equipment identity Register) — відомості про МС, що знаходяться в експлуатації, на предмет їх справності та санкціонованого застосування). [6]

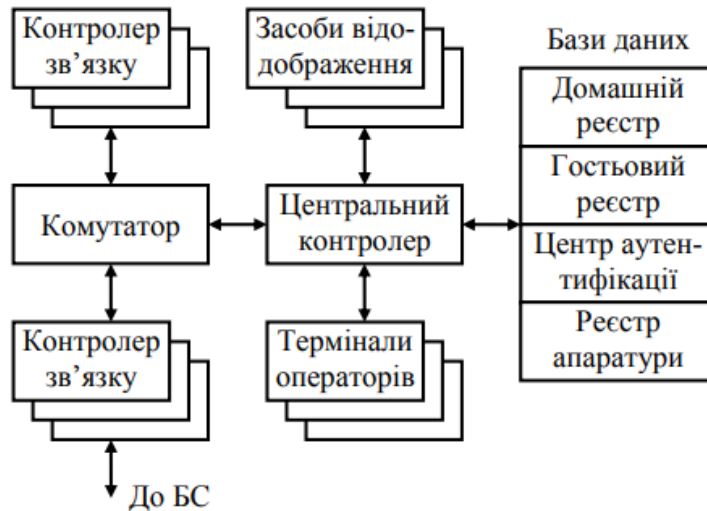


Рис.1.4. Структура ЦК

Висновки: розглянуто схему системи мобільного зв'язку та її складові; визначено їх основні можливості та технічне використання БС, МС та ЦК.

1.2 Ефірний інтерфейс

1.2.1 Інтерфейси мобільного зв'язку і їх стандартизація

У кожній ССЗ застосовується певна кількість інтерфейсів, завжди різних в різних типах.

Є свої інтерфейси МС з БС, БС - з ЦК (а в типі GSM - ще і окремих інтерфейс для зв'язку Пм-Пд БС з контролером БС), ЦК - з домашнім регістром, з гостьовим регістром, з регістром апаратури, зі стаціонарною телефонною мережею та інші.

З усієї кількості інтерфейсів, що використовуються в стільниковому зв'язку, 1 займає особливе місце - це інтерфейс обміну між МС і БС. Він носить назву ефірного інтерфейсу (ЕІ) (англійський термін *air interface*) і для обох основних типів цифрового мобільного зв'язку - D-AMPS і GSM - іноді позначається однаково - Um, хоча організований зовсім по-різному.

ЕІ обов'язково застосовується в будь-якій системі мобільного зв'язку, за кожної її модифікації і в єдиному можливому для свого типу СЗ варіанті. Остання обставина дозволяє МС будь-якої компанії-оператора однаково успішно працювати спільно з БС тієї ж або будь-якої компанії, що зручно для операторів і практично необхідно для організації роумінгу, в тому числі міжнародного. Стандарти ЕІ відпрацьовуються дуже ретельно, щоб забезпечити більш ефективне використання смуги частот, що виділена Кн радіозв'язку. [1]

1.2.2 Ефірний інтерфейс системи D-AMPS

У типі D-AMPS існує дві можливі конфігурації, які мають відповідні ЕІ. Цифровий стандарт було складено на основі аналогової системи зі спільними з нею Кн контролювання. Такий тип називається IS-54. Із прогненням збільшення функціональних можливостей зроблено удосконалення, за можливості якої введено в експлуатацію нові цифрові Кн контролювання з більшою пропускну здатністю. Новий стандарт одержав назву IS-136. Але для мовних Кн було збережено структуру IS-54.

Отже, розглянемо структуру ЕІ типу IS-54. Обмін інформації в ньому відбувається кадрами (англ. — *frame*), які йдуть 1 за 1-ним, з тривалістю 40 мс. Кожен кадр складається з 6 часових проміжків – слотів. Протяжність 1-го слота — 6,67 мс, що відповідає 324 bit, тобто протяжність 1-го bit — 20,55 мкс. У режимі повношвидкісного шифрування (*full rate coding*) на 1 мовний Кн відводять 2 слоти, тобто 20 мс складової мови за допомогою такого шифрування «упаковують» в 1 слот, протяжність якого втричі менша. Стандартом може здійснювати щільнішу упаковку, але такий режим поки не реалізовано. Слоти прямого (*downlink*) і зворотного (*uplink*) Кн відрізняються за структурою. В обох випадках для перенесення мови відводять 260 bitів. Ще 52 bit займає керуюча та допоміжна інформація. Інформація включає: 28-bit навчальної послідовності, яку потрібно для ідентифікації слоту в кадрі, синхронізації слоту в часі; 12-bit повідомлення сигналізації, контролю та контролювання SACCH (*Slow Associated Control Channel*) — Кн повільного контролювання; 12-bit повідомлення коду цифри (CDVCC – *Coded Digital Verification Control Code*), який використовують для ідентифікації МС під час отримання нею сигналу БС (код призначається БС і транслюється індивідуально для кожної МС, яка потім ретранслює цей код до БС), при цьому код має 8 bit, а 4 bit утворюють разом з інформаційними bit перешкодостійкий код Хемінга; 12 bit у прямому Кн залишають

					МП.171.081.006 ПЗ	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

резервними, а в зворотному вони виконують функцію захисного проміжку, протягом якого не передають будь-якої інформації.

За умовою повношвидкісного шифрування слоти 1 і 4 утворюють перший мовний Кн, 2 і 5 — мовний канал два, три і 6 — мовний канал три. На першому проміжку встановлення зв'язку користуються скороченом слотом, у якому багатократно повторюється синхронізуюча послідовність та код CDVCC, який поділений нульовими кількостями різної часу. У кінці скороченого слота маємо допоміжний захисний бланк. МС передає слоти доти, доки БС не вибере потрібну часову затримку, яку визначає відстань між МС і БС. Крім того, у типі IS-54 використовують загальні Кн контролювання з аналоговим стандартом AMPS. Структура EI типу IS-13 мкладніша порівняно зі типом IS54. Кадр включає два модуля по шість слотів (модуль TDMA). Більше того, у типі введені структурні складові: «суперкадр» – 16 кадрів (640 мс); «гіперкадр» – 2 суперкадри. [1]

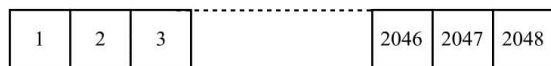
1.2.3 Ефірний інтерфейс системи GSM

Тимчасова структура EI системи GSM дуже складна (рис.1.5). Обмін інформації організовується кадрами, які мають протяжність 4,615 мілісекунд. Кадр включає 8 слотів по 577 мкс, і кожен слот відповідає своєму Кн мовлення, тобто в кожному кадрі передається інформація восьми мовних Кн. При повношвидкісному шифруванні всі послідовні кадри містять інформацію одних і тих же восьми мовних Кн. При напівшвидкісному шифруванні, поки також не реалізованому, парні і непарні кадри мають інформацію різних мовних Кн, тобто інформація 1-го і того ж Кну мовлення передається через кадр, так що в цілому передається інформація шістнадцяти мовних Кн. Повертаючись до схеми повношвидкісного шифрування, що застосовується в даний час, зауважимо, що інформаційний кадр може бути 1-го з двох типів - кадр Кн трафіку або кадр Кн контролювання (рис.1.5).

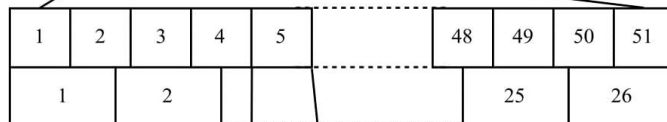
На рис. 1.5 представлена структура кадру Кн трафіку при перенесені мовлення. Протяжність слота відповідає 156,25 bit, тобто протяжність 1-го bit складає 3,69 мкс.

Перші 148 bit слота складають інформаційний пакет, або інформаційну пачку ті, що залишилися 8,25 bit - захисний проміжок. З 148 bit пачки на перенесення інформації мовлення відводиться 116 bit (з них 114 bit - на перенесення власне мовлення і 2 bit - на приховані прапорці, що визначають тип переданої інформації), 26 bit займає навчальна послідовність, і останніх 6 bit утворюють 23-bit захисних бланка по краях пачки.

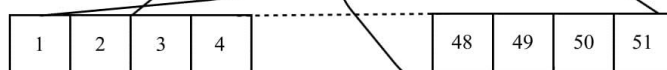
Гіперкадр
(2048 суперкадрів;
2715648 кадрів;
3 г 28 хв 53,760 с)



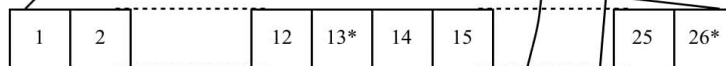
Суперкадр
(51 мультикадр
каналу трафіку;
26 мультикадрів
каналу керування;
1326 кадрів; 6,12 с)



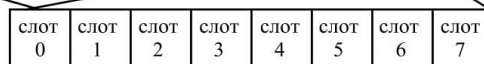
Мультикадр
каналу керування
(51 кадр; 235 с)



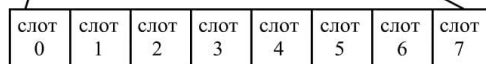
Мультикадр
каналу трафіку
(26 кадрів;
120 мс)



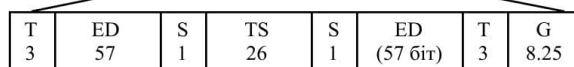
Кадр каналу
керування
(8 слотів
4,615 мс)



Кадр
каналу трафіка
(8 слотів;
4,615 мс)



Слот
(577 мкс)



Інформаційна
пачка (148 біт)

Рис. 1.5. Структура EI (канал трафіку) системи GSM

З верхньої частини рис.1.5 випливає, що інформаційні кадри об'єднуються в мультикадри. 26 кадрів Кн трафіку створюють мультикадр Кн трафіку тривалістю 120 мс. При цьому в 24 кадрах передається інформація мови - це кадри 1 ... 12 і 14 ... 25, в кадрі 1 три передається інформація повільного приєднаного Кн управління (Кн ВАССН), а кадр 26 залишається порожнім (він зарезервований для перенесені другого сегмента інформації Кн ВАССН при напівшвидкісному шифруванні). Мультикадр Кн управління має протяжність 235 мс і складається з 51 кадру Кн управління.

Мультикадри, в свою чергу, об'єднуються в суперкадр, 1 суперкадр складається з 51 мультикадру Кн трафіку або 26 кадрів Кн управління. Протяжність мультикадру в обох випадках становить 6,12 с, або +1326 кадрів. Нарешті, 2048 суперкадрів утворюють 1 гіперкадр, що має протяжність три год 28 хв 5 три,760 с, або 2715648 кадрів. Номер кадру в межах гіперкадру застосовується в процесі шифрування переданої інформації. [7.8]

Висновки: проаналізувавши 2 типу мобільного зв'язку типу GSM і D-AMPS визначили основні переваги та недоліки.

Таблиця 1.1

Переваги та недоліки систем мобільного зв'язку типу GSM і D-AMPS

GSM	Переваги
	<ul style="list-style-type: none"> • Менші, в порівнянні з аналоговими стандартами (NMT-450, AMPS-800), розміри і вага телефонних апаратів при більшому часу роботи без підзарядки акумулятора. • Хороша якість зв'язку при достатній щільності розміщення базових станцій. • Велика ємність мережі, можливість великої кількості одночасних з'єднань. • Низький ступінь індустріальних перешкод в даних частотних діапазонах. • Покращений (в порівнянні з аналоговими системами) захист від підслуховування і нелегального застосування, що досягається шляхом використання алгоритмів шифрування з розділяючим ключем. • Ефективне шифрування (стиснення) мовлення • Широке поширення, особливо в Європі, великий вибір обладнання. • Можливість роумінгу.
	Недоліки
D-AMPS	<ul style="list-style-type: none"> • Викривлення мови при цифровій обробці і перенесені. • Зв'язок можливий на відстані не більше 120 км від найближчої БС навіть при застосуванні підсилювачів і спрямованих антен.
	Переваги
	<ul style="list-style-type: none"> • Висока якість зв'язку • Захист від несанкціонованого доступу • Можливість роумінгу • Можливість експлуатації мобільних апаратів як в цифровому, так і в аналоговому режимах
	Недоліки
	<ul style="list-style-type: none"> • Менша у порівнянні з GSM ємність мережі • Цей стандарт програє GSM в можливості вільно змінювати застарілі моделі телефонів на нові з транспортування м старого номера в новий телефон.

Далі розглядатимемо більш поширенішу в нашій області CC3 типу GSM.

1.3 Організація роботи системи мобільного зв'язку

1.3.1 Частотні, фізичні і логічні канали

Крім власне інформації мовлення по КЗ повинна передаватися так звана сигнальна інформація, або інформація сигналізації, що має інформацію управління і інформацію контролю стану апаратури.

Частотний канал (ЧК) - це смуга частот, що відводиться для перенесені інформації 1-го КЗ. Правда, як ми фактично вже відзначали раніше, при застосуванні методу TDMA в одному ЧК передається інформація декількох КЗ, тобто в одному ЧК розміщується кілька фізичних Кн, але це не суперечить наведеним визначенням ЧК.

У типі D-AMPS (США) для перенесені інформації прямого каналу (БС → МС) відведена смуга частот 869—894 МГц; зворотного каналу (МС → БТС) — 824—849 МГц. Використання дуплексного рознесення.

Зв'язок центральної частоти з її номером:

канал зворотній:

$$f_0 = 825,000 + 0,030 N, \quad 1 \leq N \leq 799;$$

$$f_0 = 825,000 + 0,030(N-1023), \quad 911 \leq N \leq 1023;$$

канал прямий :

$$f_n = 870,000 + 0,030 N, \quad 1 \leq N \leq 799;$$

$$f_n = 825,000 + 0,030(N-1023), \quad 911 \leq N \leq 1023;$$

У типі GSM 900 для перенесені інформації прямого каналу відводиться смуга 935 ... 960 МГц, а зворотного - 890 ... 915 МГц, тобто двобічний рознос за частотою також становить 45 МГц. 1 ЧК займає смугу $A_f = 200$ кГц.

Фізичний канал (ФК) в системі з множинного доступу з тимчасовим поділом (TDMA) - це тимчасовий слот з визначеним номером в послідовності кадрів ЕІ. Таким чином, в одному ЧК в типі D-AMPS при повношвидкісному шифруванні передається інформація трьох ФК, при напівшвидкісному шифруванні - інформація шести ФК, а в типі GSM завжди передається інформація восьми ФК, але при напівшвидкісному шифруванні 1 ФК містить 2 канали трафіку. Реалізація часового зменшення Кн в 3 або 8 разів відповідно при повношвидкісному шифруванні і в 6 або 16 разів - при напівшвидкісному.

Логічні канали (ЛК) розрізняються по виду (складу) інформації, що передається у ФК. В принципі в ФК може бути реалізований 1 з двох типів логічних Кн - канал трафіку або канал управління. ЛК трафіку - це канал перенесені мовлення, тобто тієї інформації, заради якої і створюється СЗ. [5]

У типі D-AMPS версії IS-54 з відносно простим ЕІ поняття ЛК немає. Розглянута структура слоту для ЛК, де частково передається інформація контролювання (SACCH, CDVCC, Sync). ЛК у такому типі по суті являє собою скорочену пачку, яку використовують на етапі встановлення зв'язку, а також із швидким сумісним каналом контролювання FACCH (Fast Associated Control Channel). Допустима частота замін не регламентована.

ЛК контролювання типу IS – 136 перераховані в табл.1.2.

					МП.171.081.006 ПЗ	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 1.2

Логічні канали контролювання типу IS – 136

Зворотні канали контролювання	RACH
Прямі канали контролювання	BCCH: F-BCCH, E-BCCH, S-BCCH; SPACH: SPH, ARCH, SMSCH; SCF

У типі IS-136 виділених Кн контролювання немає, тобто всі ЧК рівноправні відповідно інформаційному складу, що передається, але є необхідність застосування ЛК – Кн трафіка і контролювання. Для перенесення інформації ЛК контролювання виділяють 1 ФК, тобто 2 слоти в межах 1-го кадру EI. У зворотному напрямку (МС → БС) передається інформація 1-го ЛК контролювання – каналу випадкового доступу RACH (Random Access Channel).

У прямому напрямку (БС → МС) передається інформація таких ЛК контролювання:

- BCCH (Broadcast Control Channel), «трансляційний» режим перенесення інформації про стан мережі із підканалами Fast BCCH – швидке контролювання, Extended BCCH – розширене контролювання, S-BCCH – обмін повідомлень;
- каналу SPACH із підканалами виклику PCH (Paging Channel), відповіді на виклик ARCH (Access Response Channel), обмін коротких повідомлень за визначеною адресою
- загального каналу зворотного зв'язку SCF (Shared Channel Fed-back), призначеного для перенесення відповідної інформації в процесі організації доступу МС у систему.

У каналі BCCH передається інформація для всіх МС: про стан мережі (F-BCCH та E-BCCH), короткі повідомлення (S-BCCH) та інформація, що потребує частого оновлення (п-три Кн контролювання, важливі показники для організації доступу в мережу). F-BCCH оновлюється з частотою суперкадрів.

Канал SPACH призначений для перенесення адресних повідомлень конкретним МС. Прийнята структура Кн контролювання передбачає таку організацію виклику МС, яка підтримує «режим сну». Виклик повторюється з періодичністю кадру виклику, протяжність якого залежить від його класу і становить від 1,28 с до 123 с. МС приймає (декодує) інформацію в першому суперкадрі, і якщо виклику в її адресу немає, то МС «засинає», тобто відключається. Протяжність кадру виклику визначає мережа. [1]

Структура ЛК GSM у спрощеному вигляді наведена в табл.1.3.

Таблиця 1.3

Види логічних Кн	Типи Кн в межах типів
Канали трафіку TCH	TCH/FS, TCH/HS

Канали контролювання ССН	BCCH: FCCH, SCH CCCH: PCH, RACH, AGCH SDCCCH ACCH: FACCH, SACCH
--------------------------	--

Спрощена структура ЛК типу GSM

ЛК типу GSM діляться на канали трафіку і канали управління.

Канали трафіку TCH (Traffic Channels), в свою чергу, діляться на повношвидкісні TCH / FS і напівшвидкісні TCH / HS. Типи Кн трафіку для перенесені даних в табл.1.три.1.2 не включені (TCH / F9.6, TCH / F4.8, TCH / H4.8 і т.п.).

Мовні канали управління BCCH призначені для, перенесені інформації від БС до МС в мовному режимі, тобто без адресування до будь-якої конкретної МС. В число мовних Кн управління входять: канал корекції частоти FCCH (Frequency Correction Channel) - для підстроювання частоти МС під частоту БС, канал синхронізації SCH (Synchronization Channel) - для кадрової синхронізації МС, а також канал загальною інформації, що не має окремого найменування.

Загальні канали управління CCCH включають: канал виклику PCH (Paging Channel), який застосовується для виклику МС БС; канал дозволу доступу AGCH (Access Grant Channel) - для призначення закріпленого каналу управління, який також передається від БС на МС; канал випадкового доступу RACH (Random Access Channel) - для виходу з МС на БС із запитом про призначення виділеного каналу управління. При перенесені інформації по загальним каналам управління прийом інформації не супроводжується підтвердженням.

Виділені закріплені канали управління SDCCCH - автономні канали управління для перенесені інформації з БС на МС і в зворотному напрямку. [5]

1.3.2 Ініціалізація і встановлення зв'язку

Перейдемо до розгляду організації основних режимів роботи ССЗ.

ЦК і БС працюють 24/7. При наявності в них неполадок працездатність підтримується за рахунок передбачуваного конструкцією резервування, з ремонтом (заміною) складових.

Глянемо на простий випадок - роботу МС в межах 1-го осередку своєї («домашньої») системи, без перенесені сервісу. В цьому випадку в роботі МС можна виділити 4 етапи, яким відповідають 4 режими роботи:

- включення і ініціалізація;
- режим чекання;
- режим виклику;
- режим розмови.

Після включення МС, тобто після замикання ланцюга живлення, проводиться ініціалізація - початковий запуск. Протягом цього етапу відбувається налаштування МС на роботу в складі системи - за сигналами, які регулярно передаються БС по відповідних каналах контролювання, після чого МС переходить в режим чекання. Конкретний зміст етапу ініціалізації залежить від типу СЗ, що застосовується.

					МРП.171.081.006 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

У типі D-AMPS версії IS-54 МС починає зі сканування виділених Кн управління і вибору каналу з найбільш сильним сигналом; потім по інформації, що передається цим каналом, МС визначає номери Кн виклику, знаходить серед них канал із стабільним сигналом, перестроюється на його частоту і очікує.

У типі GSM МС сканує всі наявні ЧК, налаштовується на канал із стабільним сигналом і визначає, чи транслюється в цьому ЧК інформація із ВССН. Якщо ні, то БТС переналаштовується на другий порівні сигналу ЧК, і так поки не знайде канал ВССН. Потім МС знаходить пачку синхронізації, синхронізується з обраним ЧК, розшифровує додаткову інформацію про БС (6-bit код ідентифікації БС) і приймає остаточне рішення про продовження пошуку або роботу в даному осередку.

Перебуваючи в режимі чекання, МС слідкує за:

- зміною системної інформації – зміни по русі МС;
- системні команди – команди підтвердження локації клієнта;
- виклик зі сторони системи;
- виклик власного абоненту.

У типі GSM МС вимірює і періодично передає на БС наступні п-три:

- ступінь сигналу БС робочого («свого») осередку і до 16 ділянок, що межують з даною;
- якість сигналу на робочій території –помилка, яка припадає на біт інформації.

Розглянемо процедуру встановлення зв'язку.

Якщо з боку системи надходить виклик номера МС, ЦК направляє цей виклик на БС того осередку, в якій «zareєстрована» МС, або на кілька БС в околиці цього осередку - з урахуванням можливого переміщення клієнта за час, що минув з моменту останньої «реєстрації», а БС передають його по відповідних каналах виклику. При вірному результаті аутентифікації призначається канал трафіку, і МС повідомляється номер відповідного ЧК. МС налаштовується на виділений канал. МС налаштовується на даний номер слота в кадрі, уточнює затримку в часі, підлаштовує ступінь випромінюваної потужності і т.п.

Вибір часу чекання проводиться з метою погодження слотів в кадрі (на прийом в БС) при організації зв'язку з МС, що знаходяться на різних відстанях від БС. При цьому тимчасова затримка переданої МС пачки регулюється по командам БС. У типі D-AMPS при виборі тимчасової чекання робота здійснюється укороченими пачками. Початкове значення чекання становить 88 bit; воно може зменшуватися на величину до 30 bit з кроком 1 bit (20,55 мкс). У типі GSM при виборі чекання використовуються пачки доступу. Затримка регулюється в межах від 0 до 6 три bit з дискретом 1 bit (3,69 мкс). Надалі БС відстежує зміну дальності до МС і коригує величину чекання, видаючи відповідні команди на МС. При малих геометричних розмірах осередку, тобто при малих величинах чекання (в межах захисного бланка або захисного проміжку), компенсація тимчасової чекання може не проводитись.

У типі GSM виробляються також прив'язка МС до БС за частотою з застосуванням пачки корекції частоти і тимчасова синхронізація МС з БС з точністю до 1/4 bita, для чого в пачці синхронізації передаються номери чверті bita (QN - Quarter bit Number, в межах від 0 до 624), bita (BN - Bit Number, в межах від 0 до 156), слота (TN - Timeslot Number, в межах від 0 до 7) і кадру (FN - Frame Number, в межах від 0 до 2715648)

					МП.171.081.006 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

Потім БС видає повідомлення про час надходження дзвінка, який підтверджується МС, і клієнт отримує можливість почути сигнал виклику.

В процесі розмови МС виконує обробку надісланих та отриманих сигналів мовлення, а також сигналів управління, що передаються одночасно з промовою. По завершенні розмови відбувається обмін службовими повідомленнями між МС і БС, після чого Під МС вимикається і станція переходить в режим чекання.

Якщо виклик ініціюється з боку МС, тобто клієнт набирає номер клієнта, що викликається, переконується в правильності набору по відображенню на дисплеї і натискає відповідну кнопку («виклик») на панелі управління, то МС передає через свою БС повідомлення з зазначеним потрібним номером і інформацією для аутентифікації рухомого клієнта. Після аутентифікації БС призначає канал трафіку, і наступні кроки з підготовки сеансу зв'язку виробляються таким же чином, як і під час вступу виклику з боку системи.

Даний процес характеризується наступною послідовністю дій:

1. МС за допомогою каналу з випадковим доступом (RACH) надсилає запит на виділений керуючий канал (SDCCH) для встановлення виклику.
2. Контролюючий орган БТС використовуючи канал, який відповідає за доступ (AGCH) надає канал SDCCH.
3. МС користуючись каналами SDCCH проводить аутентифікацію і телефонує клієнту.
4. ЦК назначає канал, який відповідає за трафік (TCH).
5. ЦК дає номер, для виклику і закінчує з'єднання. [1]

1.3.3 Аутентифікація і ідентифікація

Аутентифікація - процедура підтвердження особи клієнта системи МС. Необхідність введення цієї процедури викликана неминучим звабленням отримання несанкціонованого доступу до послуг СЗ, що призводить до численних і різноманітних проявів особливого роду шахрайства. Слово аутентифікація (англійське authentication) походить від грецького authentikos - справжній, що виходить із першоджерела.

Ідентифікація - процедура ототожнення МС, тобто процедура встановлення належності до певної групи, що мають свої відмінні риси.

У типі GSM процедура аутентифікації пов'язана з застосуванням модуля ідентифікації клієнта (Subscriber Identity Module - SIM), званого також SIM-картою. Модуль SIM - це модуль, що вставляється відповідне гніздо клієнтського апарату. Модуль містить персональний ідентифікаційний номер клієнта (Personal Identification Number - PIN), міжнародний ідентифікатор клієнта МС (International Mobile Subsc Identity - IMSI), індивідуальний ключ аутентифікації клієнта, індивідуальний алгоритм аутентифікації клієнта А3, алгоритм обчислення ключа шифрування А8. Для аутентифікації застосовується зашифрований відгук S, який є результатом використання алгоритму А3 до ключа Ki і квазівипадкової кількості R, що отримується МС від центру аутентифікації через ЦК. Алгоритм А8 застосовується для обчислення шифру кодування інформації. Унікальний ідентифікатор IMSI замінюється ідентифікатором TMSI.

Процедура ідентифікації полягає в порівнянні ідентифікатора клієнтського апарату з номерами, що містяться у чорних реєстровських списках, з метою видалення з обігу

несправних девайсів. Ідентифікатор апарату виготовляється таким чином, щоб його заміна або підробка були важкими і економічно не вигідними. [9]

1.3.4 Обмін сервісу

При переміщенні МС з 1-го осередку в іншу її сервісу відповідно передається від БС першого осередку до БС другого. Цей процес називається передачею сервісу. Підкреслимо, що процедура перенесення сервісу має місце тільки в тому випадку, коли МС пересікає кордон осередків під час сеансу зв'язку, і зв'язок (телефонна розмова) при цьому не переривається. Якщо ж МС переміщається з 1-го осередку до другого, перебуваючи в режимі чекання, вона просто відстежує ці переміщення за інформацією системи, що передається по каналах управління, і в потрібний момент перебудовується на сильніший сигнал іншої БС.

Технічно процедура перенесення сервісу здійснюється наступним чином. Необхідність у перенесенні сервісу виникає, коли якість каналу зв'язку, що оцінюється за рівнем сигналу і / або частоти біт помилки, падає нижче допустимої межі. У типі GSM зазначені п-три постійно вимірюються МС як для свого осередку, так і для ряду суміжних (до 16 осередків), і результати вимірювань передаються на БС.

Обов'язковою умовою перенесення сервісу з 1-го осередку в іншу є більш висока якість каналу зв'язку в другій клітинці в порівнянні з першою. [15]

1.3.5 Роумінг

Роумінг - це функція послуг абоненту 1-го оператора в системі іншого оператора.

Клієнт мобільного зв'язку, який опинився на ділянці «чужої» системи, що дозволяє реалізацію роумінгу, ініціює виклик таким чином, якщо б він знаходився на ділянці «своїєї» системи.

ЦК, переконавшись, що в його домашньому реєстрі цей клієнт не числиться, сприймає його як роумера і заносить в гостьовий реєстр. Одночасно (або з деякою затримкою) він запитує в домашньому реєстрі своєї системи роумера відповідні про нього відомості, необхідні для організації сервісу, і повідомляє, в якій системі роумер знаходиться в даний час; остання інформація фіксується в домашньому реєстрі «рідної» системи роумера. Після цього роумер використовує СЗ, як вдома: вихідні від нього виклики обслуговуються звичайним чином, з тією лише різницею, що відомості, які до нього відносяться, фіксуються не в домашньому реєстрі, а в гостьовому; вхідні виклики переадресовуються своєю системою на ту систему, де роумер гостює. Після повернення роумера додому в домашньому реєстрі своєї системи стирається адреса тієї системи, де роумер перебував, а в гостьовому реєстрі тієї системи, в свою чергу, стираються відомості про роумера. Оплата послуг роумінгу проводиться клієнтом через «домашню» систему, а домашній оператор відшкодовує витрати оператору, що зробила послуги роумінгу, відповідно за роумінговою угодою. [1]

1.3.6 Можливості мобільного зв'язку

					МП.171.081.006 ПЗ	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розгляд питань організації роботи завершимо короткими відомостями про набір можливостей, пропонуваніх СЗ своїм клієнтам. Крім звичайної двостороннього радіотелефонного зв'язку (обмін мови) з МС стільникової мережі і нерухомими клієнтами стаціонарної телефонної мережі, включаючи міжміський та міжнародний телефонний зв'язок, ССЗ можуть запропонувати клієнтам ще цілий ряд послуг, в тому числі перенесення факсимільних повідомлень і комп'ютерних даних, переадресацію виклику і автодозвон, автоматичну реєстрацію часу телефонних розмов, голосову пошту і багато іншого.

Стандарт GSM дає чітку класифікацію підтримуваних ним можливостей.

Можливості СЗ складаються з основних і додаткових можливостей. Перші з них можуть існувати самі по собі, вони поділяються на 2 великі класи - можливості перенесені орієнтовані тільки на транспортування інформації між відповідними стиками клієнт / мережа, і на відміну від телеможливості турбота про сумісність протоколів зв'язку кінцевих девайсів (термінальної апаратури) залишається за клієнтами цих девайсів; і телефункції -орієнтована на безпосередній зв'язок клієнт / клієнт і має функцію зв'язку кінцевих девайсів. Додаткові можливості можуть надаватися тільки одночасно з основними.

Можливості перенесені включають 4 категорії:

1. Асинхронний обмін інформацією з комутованими сітками заг. використання зі швидкостями 300...9600 bit / с.
2. Синхронний обмін інформацією з комутованими сітками заг. використання, комутованими сітками перенесені даних заг. використання та цифровими сітками з інтеграцією можливостей зі швидкостями 300...9600 bit / с.
3. Асинхронний пакетний обмін інформацією з мережею перенесені даних заг. використання з пакетною комутацією зі швидкостями 300...9600 bit / с.
4. Синхронний пакетний обміну інформацією з мережею перенесені даних заг. використання з пакетною комутацією зі швидкостями 2400...9600 bit / с.

Телеможливості включають такі категорії:

1. Обмін інформації мовлення і тональної сигналізації в полосі мовлення.
2. Обмін коротких СМС
3. Доступ до системи обробки СМС
4. Обмін факс повідомлень.

Додаткові можливості включають категорії:

1. Ідентифікація і відображення номера, який викликається або конектиться і обмеження ідентифікації та відображення номера, який викликається або конектиться.
2. Постійна переадресація викликів на інший номер (безумовна переадресація і переадресація в випадках, коли клієнт зайнятий або не відповідає) і обмін виклику
3. Чекання виклику (при зайнятому терміналі клієнт отримує повідомлення про виклик, що надійшов і може відповісти на нього, відмовитися від встановлення з'єднання або проігнорувати його надходження) і збереження виклику
4. Конференція - одночасна розмова трьох або більше клієнтів.

					МП.171.081.006 ПЗ	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5. Закрита група клієнтів - ця функція дозволяє групі клієнтів спілкуватися тільки між собою; при необхідності 1 або більше членів групи можуть мати доступ по входу / виходу до клієнтів, що не входять в групу.
6. Оперативна інформація про вартість наданих послуг.
7. Заборона на певні можливості, наприклад на вхідні виклики, на міжнародні виклики або на вихідні виклики для роумінгу.
8. Надання відкритої лінії зв'язку мережа / клієнт для реалізації можливостей, визначених оператором

Відповідно до викладеного можливі різні варіанти конфігурації МС системи GSM, що забезпечують різні точки доступу. У загальному випадку МС складається з терміналу системи рухомого зв'язку і термінальної апаратури. Термінали можуть бути трьох типів:

- МТО - функціонально закінчена рухома станція, що має як мережевий термінал
- MT1 - підтримує апаратуру типу TE1 з програмним забезпеченням ISDN;
- MT2 - підтримує термінальну апаратуру типу TE2 з програмним забезпеченням серій X і V МККТТ; апаратура типу TE2 може бути підключена також до терміналу MT1 через адаптер ТА. [1]

Висновки: в даному розділі розглянуто основні аспекти організації роботи ССЗ; основні принципи встановлення зв'язку, тобто ідентифікації та аутентифікації; організацію основних режимів роботи ССЗ; принцип перенесені сервісу і його необхідність; можливість користування не тільки «домашньою» системою – роумінг; головні можливості ССЗ.

1.4 Методи множинного доступу

1.4.1 Варіанти множинного доступу

Поняття множинного доступу (МД) (англійська еквівалент multiple access) пов'язано з організацією спільного використання обмеженої ділянки спектра багатьма клієнтами. В ортодоксальних підходах виділяється п'ять варіантів МД:

1. МД з частотним поділом КЗ.
2. МД з тимчасовим поділом КЗ.
3. МД з кодовим поділом КЗ.
4. МД з просторовим розділенням КЗ.
5. МД з поляризаційним поділом КЗ.

1.4.2 МН з частотним розділенням

МД з частотним поділом (англійське FDMA- Frequency Division Multiple Access), або МД з поділом Кн зв'язку по частоті, - найбільш простий з трьох методів множинного доступу як за своєю ідеєю, так і по можливості реалізації. У цьому методі кожному клієнтові на час сеансу зв'язку виділяється своя смуга частот Δf (ЧК), якою він володіє безроздільно. Метод FDMA застосовується у всіх аналогових ССЗ (системах першого покоління) - це єдиний метод, який доцільно використовувати в аналогових системах, при цьому смуга Δf становить 10...30 кГц. Основне слабке місце FDMA- недостатньо ефективного використання смуги частот. [14]

1.4.3 МН з часовим розділенням

МД з часовим поділом (англійське TDMA - Time Division Multiple Access), або МД з поділом Кн зв'язку за часом. Сутність цього методу TDMA полягає в тому, що кожен ЧК розділяється в часі між декількома клієнтами, тобто ЧК по черзі надається декільком клієнтам на певні проміжки часу.

Практична реалізація методу TDMA вимагає трансформування сигналів в цифрову форму і характерного «стиснення» інформації в часі. Цифрова обробка сигналів і схема TDMA використовуються в стандартах СЗ другого покоління D-AMPS, GSM, PDC. Особливо наочний в цьому відношенні стандарт D-AMPS: при збереженні тієї ж смуги ЧК

					МП.171.081.006 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

$\Delta f = \text{три}0 \text{ кГц}$, що і в аналоговому типі AMPS, число ФК в ньому зростає втричі і більш ніж втричі зростає ємність системи; з введенням напівшвидкісного шифрування цей коефіцієнт збільшиться ще в 2 рази. [13]

1.4.4 МН з кодовим розділенням

МД з кодовим поділом (англійське CDMA - Code Division Multiple Access) простий тільки на рівні феноменологічного опису методу: в ньому велика група клієнтів (наприклад, від 30 до 50). По-суті ж метод CDMA досить складний, і не тільки по відношенню до принципів побудови, але і в плані практичної реалізації. Як і TDMA, метод CDMA може бути реалізований тільки в цифровій формі.

Головними перевагами CDMA були скритність, надійність і висока стійкість. Основна ознака методу CDMA - це робота в широкій смузі частот. Система зв'язку, що реалізує CDMA, є системою з розширеним спектром (англійське spread spectrum) - спектр інформаційного повідомлення штучно розширюється за допомогою модуляції (шифрування) періодичною псевдовипадковою послідовністю імпульсів з досить малим дискретом.

Можливість успішної роботи в умовах всюдипроменевого поширення також безпосередньо пов'язана з кореляційним прийомом. Якщо кореляційний Пм має кілька Кн і кожен з них може бути налаштований на свою затримку сигналу, то різні канали можуть бути узгоджені із чекання з сигналами, які пройшли різними шляхами, а сигнали з виходів всіх Кн після відповідного вирівнювання в часі можуть бути підсумовані.

Головним фактором у вирішенні завдання отримання граничної ємності є та обставина, що в CDMA основний внесок у відношення сигнал / перешкода вносять заважаючі сигнали інших ФК (інших клієнтів) в «своєму» (робочому) осередку, оскільки всі ФК використовують одну і ту ж широку смугу частот, тоді як в FDMA і TDMA перешкодовий фон створюється каналами зв'язку, що працюють в інших осередках в тому ж ЧК, а для TDMA - і в тому ж часовому слоті. Тому в CDMA ретельне регулювання рівнів сигналів, використання секторних антен на БС і використання фактору «мовної активності» (станція випромінює лише тоді, коли клієнт говорить, і не випромінює в паузах мови) в поєднанні з оперативною зміною кількості задіяних Кн зв'язку в межах наявного ресурсу дозволяє практично - за місцем, по конкретній ситуації, що складається - реалізувати гранично мале допустиме значення $C / 1$, тобто отримати гранично велику пропускну здатність і ємність системи. У методах FDMA і TDMA це не реалізовується, перш за все щодо першого фактору - регулювання рівнів сигналів, так як таке регулювання можливе тільки за критеріями своїх («віддалених») осередків, без урахування відношення $C / 1$ в показниковий робочій комірці. Практично ж в FDMA і TDMA настільки оперативної, як в CDMA, регулювання рівнів сигналів зазвичай не проводиться, фактор «мовної активності» застосовується не завжди, а секторизація застосовується фактично як варіант дроблення осередків. Крім того, комбіноване використання в CDMA кількох досить складних і ефективних методів шифрування дозволяє знизити поріг $C / 1$ в порівнянні з FDMA і TDMA. У методі CDMA є, очевидно, і можливість оперативного регулювання порога $C / 1$, наприклад короткочасного його зниження (при відповідному погіршенні характеристик зв'язку) для забезпечення етапу перенесені сервісу.

					МП.171.081.006 ПЗ	Арк. 30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Зі сказаного однозначно випливає, що в CDMA регулювання рівнів сигналів, використання секторних антен і відпрацювання «мовної активності» є принципово важливими і обов'язковими елементами методу.

У методі CDMA реалізується так звана «м'яка обмін сервісу» {soft handoff): коли МС наближається до межі осередку, тобто сигнали від двох БС - робочої комірки і однією з суміжних - стають однокові за рівнем (це фіксується МС і повідомляється на БС робочої осередки), по команді з ЦК через БС суміжній осередку організовується другий канал зв'язку з тією ж МС; при цьому перший канал (в «старому» осередку) продовжує працювати, тобто МС приймає сигнали одночасно від двох БС. «М'яка обмін сервісу», безумовно, підвищує якість і надійність зв'язку, але її організація обходиться аж ніяк не безкоштовно: крім того, що в процесі перенесені сервісу МС займає не 1 ФК, а 2 (по одному каналу в двох осередках), регулювання рівня сигналу МС може здійснюватися лише одним з осередків, а по-другому сигнал може виявитися або слабеньким, або завеликим.

Метод CDMA вимагає точної синхронізації БС системи. Це може бути реалізовано, наприклад, за допомогою супутникової геодезичної системи GPS (Global Positioning System - Глобальна система позиціонування), але в результаті ССЗ виявляється не автономною.

У методі CDMA немає захисних проміжків (бланків), як в методі TDMA, а велике число знаків в використовуваних кодових послідовностях полегшує збереження конфіденційності інформації, що передається (ускладнює її несанкціоноване дешифрування).

Підведемо підсумки. Метод CDMA має порівняно високу завадостійкість і добре працює в умовах всюдипроменевого поширення. Відрізняється високою прихованістю, не використовує частотного кодування, дозволяє зручну зміну послуг, але все це вимагає використання не простих завдань: акуратне контролювання рівня сигналів, залучення секторних антен, точної синхронізації БТС. [12]

1.4.5 Шляхи підвищення ємності системи мобільного зв'язку

Головний метод - це покращення методів читання сигналів, зокрема, перехід від аналога до цифри.

Другий шлях - дроблення осередків, тобто перехід до менших територій в місцях з великим трафіком з тим же коефіцієнтом повторного використання частот; число БС при цьому відповідно збільшується, а потужність випромінювання - як для БС, так і для МС - знижується.

В якості третього шляху підвищення ємності відзначимо можливість використання адаптивного призначення Кн (Adaptive Channel Allocation - ACA) в методах FDMA і TDMA. Тобто всі ЧК в межах в даній смузі, за певним законом розділяються між ділянками кластера.

Нарешті, останній шлях - це тривіальне розширення смуги частоти. Але цей шлях мало корисний.

Висновки: проаналізовано три методи МД: з часовим, частотним і кодовим розділенням, а також методи підвищення ємності системи мобільного зв'язку. Найбільш

					МП.171.081.006 ПЗ	Арк. 31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

переваг має метод CDMA, основні з яких: скритність, надійність і висока перешкодостійкість. Основна ознака методу CDMA - це робота в широкій смузі частот, що значно перевищує смугу сигналу мовлення, в поєднанні з таким шифруванням інформації кожного з ФК, яке дозволяє виділяти їх із загальної широкої смуги, що застосовується одночасно всіма ФК. Система зв'язку, що реалізує CDMA, є системою з розширеним спектром (англійське spread spectrum) - спектр інформаційного повідомлення штучно розширюється за допомогою модуляції (шифрування) періодичною псевдовипадковою послідовністю імпульсів з досить малим дискретом.

1.5 Цифрова обробка сигналів

1.5.1 Роль і побудова цифрової обробки. Характеристики мовленнєвих сигналів

Цифрова обробка сигналів (ЦОС) - важливий елемент в апаратурній реалізації принципів СЗ. Тільки в цифровій формі виявляється можливим використання економічного (з усуненням надмірності) шифрування мови, ефективного канального шифрування з великим рівнем захисту від помилок.

Використовувані в СЗ методи ЦОС, характеристики і п-три реалізують їх девайсів, зокрема АЦП і кодера, найтіснішим чином пов'язані з характеристиками передачі сигналу мовлення. Спектр потужності сигналу мовлення максимальний на частоті 400 Гц і спадає на вищих частотах на 9 dB на октаву. Протяжність звуків мовного сигналу становить від декількох десятків до декількох сотень мілісекунд при середньому значенні 130 мс, причому середнє значення для голосних звуків 210 мс, а для приголосних 95 мс. У завданнях шифрування сигнал мови часто розглядають як квазістаціонарний гауссовський процес, спектрально-кореляційні характеристики якого постійні на проміжкові 20 ... 30 мс. При телефонній розмові миттєвий ступінь мовного сигналу змінюється в діапазоні 35 ... 40 dB. При цьому ступінь приголосних в середньому на 20 dB нижче рівня голосних.

Слухове відчуття гучності приблизно пропорційно логарифму інтенсивності впливу. Граничне для слуху зміна рівня звуку не перевищує ± 1 dB. Слух слабо чутливий до точності перенесені фазових співвідношень складових сигналу. Постійна часу слуху в середньому становить: при наростанні сигналу 20 ... три0 мс, при спаді 100 ... 200 мс. [1]

1.5.2 Аналогово-цифрове трансформування

Аналого-цифрове трансформування є першим етапом цифрової обробки сигналів в передавальному тракті. Як підказує сама назва, аналого-цифровий перетворювач (АЦП) є сполучним елементом між аналоговими і цифровими ділянками тракту, що трансформує сигнал з виходу в цифрову форму. Відповідно цифро-аналоговий перетворювач (ЦАП) - трансформує цифровий сигнал в аналоговий.

					МП.171.081.006 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

Робота АЦП має 2 види: дискретизації сигналу що надходить в часі - зазвичай з постійним кроком, тобто через рівні проміжки часу, і квантування величини сигналу по рівню для цих дискретних моментів часу. В результаті на виході АЦП появляються 2-ві набори одиниць і нулів, відповідні рівням сигналу в моменти дискретизації. Цей процес показаний на рис. 1.6.

За теоремою Котельникова, частота дискретизації повинна бути принаймні вдвічі більше максимальної частоти в спектрі сигналу. Оскільки при цифровому переміщенні сигналів по мобільних лініях зв'язку обмежуються смугою частот від 300 до 3400 Гц, загальноприйнятою є частота дискретизації $F_d = 8$ кГц.

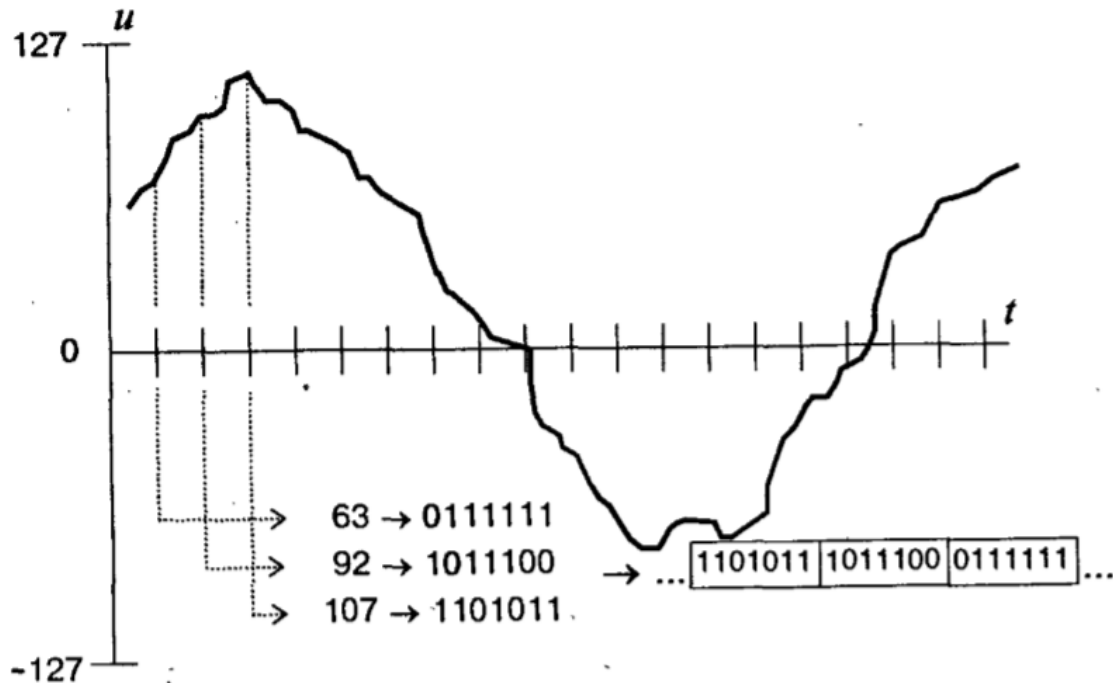


Рис.1.6. Дискретизація сигналу в часі за допомогою АЦП

Число двійкових розрядів АЦП зазвичай вибирається рівним 8, включаючи знаковий розряд, так що діапазон чисел на виході АЦП становить від -127 до +127.

В результаті на виході АЦП виходить потік 8-bit чисел, що слідує з частотою 8 кГц, мається на увазі що потік інформації на виході АЦП становить 64 kbit / с. [1]

1.5.3 Шифрування мовлення

Кодер мови є першим елементом власне цифрової ділянки передавального тракту, наступним після АЦП. Основне завдання кодера (англійський термін *encoder*) зменшення сигналу з усуненням надлишкового при нормальній якості У тракту, що працює а прийом перед ЦАП знаходиться декодер; задача декодера (англійський термін *decoder*) – полягає у відновленні сигналу. Поєднання кодера і декодера називають кодеком (англійський термін - *codec*).

Історично склалося 2 напрямки шифрування мовлення: шифрування форми сигналу (*waveform coding*) і шифрування джерела сигналу (*source coding*). Перший метод заснований на застосуванні статистичних параметрів сигналу. Такі кодери забезпечують високу якість передачі інформації, але різняться економічністю. Метод шифрування

форми сигналу використовуються три основних способи шифрування: імпульсно-кодова модуляція, РСМ (англійське Pulse Code Modulation - РСМ), диференціальна РСМ - DPCM (Differential PCM - DPCM) і дельта-модуляція - ДМ (Delta Modulation - ДМ). РСМ відповідає цифровий сигнал безпосередньо з виходу АЦП, в ньому зберігається вся надлишок аналогового мовного сигналу. При DPCM ця надлишок зменшується за рахунок того, що квантуванню з подальшим шифруванням і передачею по лінії зв'язку піддається різниця між вихідним мовним сигналом і його передВаченим значенням. Якщо при шифруванні сигналу використовуються складові адаптації, то відповідну різновидність DPCM називають адаптивною DPCM - ADPCM (Adaptive DPCM - ADPCM). ДМ - це DPCM з одноканальним квантуванням, вона також може бути адаптивною (ADM). ADPCM знаходить застосування, наприклад, в бездротовому телефоні з коефіцієнтом стиснення сигналу близько 2. У СЗ застосовується виключно другий метод шифрування, як більш економічний, - коефіцієнт стиснення близько 5...8 зі збільшенням його в перспективі ще вдвічі.

Другий метод - шифрування джерела сигналу, або шифрування параметрів сигналу, - спочатку ґрунтувався на даних про механізми мовленнєвого створення, тобто використовував свого роду модель голосового тракту і приводив до систем типу аналіз-синтез, який отримав назву вокодерної системи або вокодерів (vocoder - скорочення від voice coder, тобто кодер голосу або кодер мовлення). Уже ранній вокодер дозволяв отримати досить низьку швидкість перенесені інформації, але при характерній «синтетичній» якості мовлення на виході.

Мета кодування інформації методом лінійного передВачення (Linear Predictive Coding - LPC) полягає в тому, що по лінії зв'язку передаються не п-три мовного сигналу, як такого, а п-три деякого фільтра, в даному разі еквівалентного голосовому тракту, і п-три сигналу збудження цього фільтра. В якості такого фільтра застосовується фільтр лінійного передВачення. Завдання шифрування на передавальному елементі лінії полягає в оцінюванні п-рів фільтра і п-рів збуджуючих сигналів, а завдання дешифрування на прийомному елементі - в пропуску такого сигналу через фільтр, на виході якого виходить відновлений сигнал мови.

Метою методу лінійного передВачення є те, що кожна мовна вибірка сигналу S_n з деяким ступенем точності передВачається лінійної комбінації М попередніх вибірок:

$$S'_n = \sum_{i=1}^M a_i S_{n-i},$$

де a_i - коефіцієнти лінійного передВачення, М - порядок передВачення.

Різниця між істинним і передВаченим значенням вибірки визначає помилку передВачення (залишок передВачення):

$$e_n = S_n - S'_n = S_n - \sum_{i=1}^M a_i S_{n-i}.$$

В результаті z-трансформування маємо:

$$E(z) = S(z) - \sum_{i=1}^M a_i S(z)z^{-i} = S(z)A(z),$$

де, функція А (z)

$$A(z) = 1 - \sum_{i=1}^M a_i z^{-i}$$

інтерпретується як передавальна характеристика деякого фільтра (інверсного фільтра або фільтра-аналізатора), частотна характеристика якого обернена до частотної х-ки голосового тракту. Подача сигналу мовлення на вхід інверсного фільтра означає, що на

					МРП.171.081.006 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

виході фільтра виходить збуджуючих сигнал, схожий (з точністю до помилок, які визначаються кінцівкою порядку передВачення M і похибкою оцінки коефіцієнту передВачення) сигналу збудження на вході фільтра голосового тракту.

Отриманий вираз для $A(z)$ відповідає структурі трансверсального фільтра. Порядок передВачення вибирається з умови компромісу між якістю перенесені мови і пропускнуою спроможністю лінії зв'язку; практично M береться близько 10.

Значення коефіцієнтів передВачення, постійні на проміжкові кодованого сегмента мови (на практиці протяжність сегмента становить 20 мс), знаходяться з умови мінімізації середньоквадратичного значення залишку передВачення на проміжкові сегменту.

Якщо мовний сигнал на цьому проміжкові вважається стаціонарним випадковим процесом (автокореляційний метод оцінки коефіцієнтів передВачення), то матриця системи теплицева і розв'язується алгоритмом Дарбіна, і фільтр-синтезатор виходить свідомо стійким. Інколи мовленнєвий сигнал є процесом не стаціонарним (коваріаційний метод оцінки), то системна матриця симетрична, система вирішується з застосуванням розкладання Холецкого, а для забезпечення стійкого фільтра-синтезатора коваріаційний метод доводиться відповідним чином модифікувати.

Синтезований фільтр має ту ж структуру, що і аналізований (інверсний), і визначається тим же набором параметрів, але входи і виходи обмінюються місцями.

Таким чином, процедура шифрування мовлення в методі лінійного передВачення зводиться до наступного (рис.1.7):

- сигнал мовлення, який пройшов оцифрування, складається із проміжків тривалістю 20 мс (приблизно 140-160 вибірок по 8 bit в кожному сегменті);
- для кожного сегмента оцінюються p -три фільтра лінійного передВачення і p -три збуджуючого сигналу; сигналом збудження в простому випадку може бути остача передВачення, що отримується під час пропуску сегмента мови фільтром лінійного передВачення;
- p -три фільтра і p -три збуджуючого сигналу шифруються за певним кодом і транслюються до каналу зв'язку.

Процедура дешифрування мови: сигнал проходить через фільтр синтезу збудження відомої структури, p -три якого перепоказники одночасно з сигналом збудження. Сигнал на вхід фільтра аналізу весь час надходить з виходу АЦП, а вихідний сигнал який синтезує фільтр потрапляє на вхід ЦАП (рис. 1.2).

Наведений опис процесів шифрування і дешифрування мови не є вичерпним, воно пояснює лише принцип дії кодека.

1. Описана явище з лінійним передВаченням - часткове пророкування {Short-Term Prediction - STP) - не надає в повній мірі видалення надлишковості. Тому застосовується ще довгострокове передВачення {Long-Term Prediction - LTP), яке значною мірою усуває залишкову надлишок.

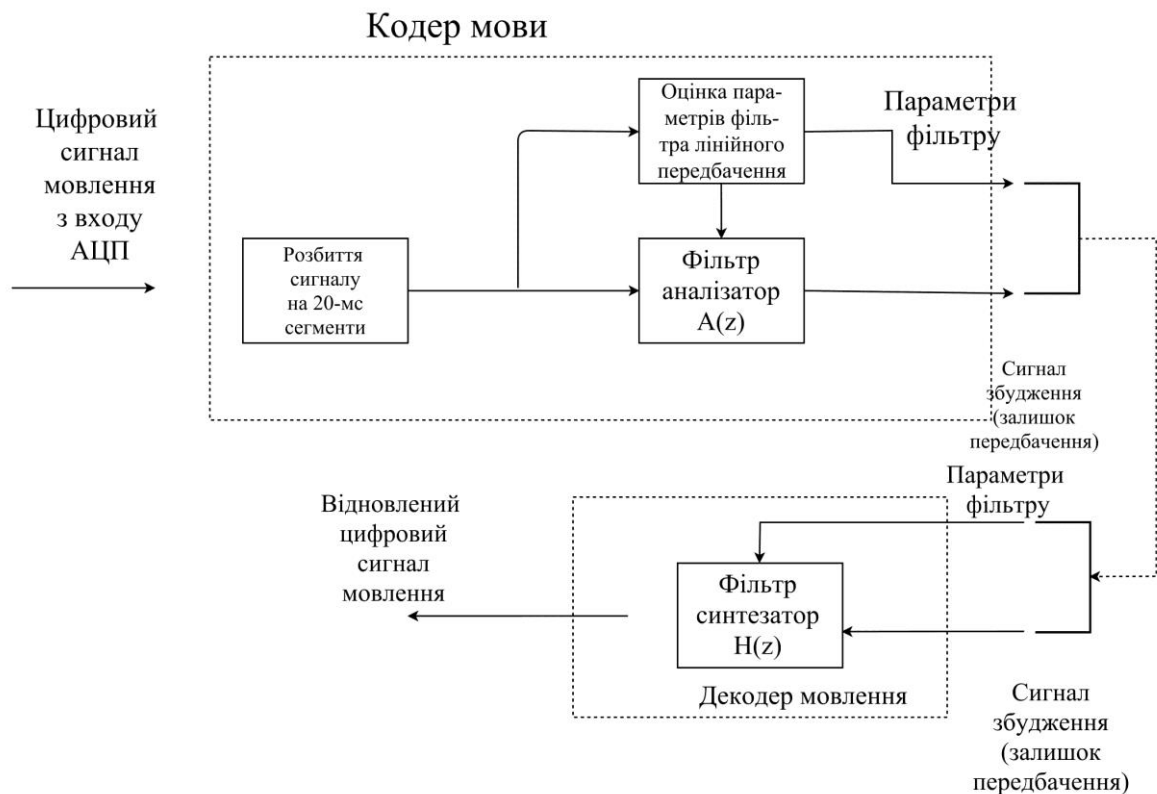


Рис. 1.7. Робота кодека мовлення в методі лінійного передбачення

2. Використання залишкової інформації передбачення в якості збудження сигналу виявляється не ефективним, тому що необхідно для шифрування занадто великої кількості bit. Через це практичне використання знаходять більш економічні методи формування сигналу збудження.

У типі GSM застосовується метод RPE-LTP (Regular Pulse Excited Long Term Predictor - лінійне передбачення зі збудженням регулярної послідовності імпульсів і довготривалим провідником). Спрощена модуль-схема кодека представлена на рис.8.

Почнемо з розгляду кодера. Модуль попередньої обробки здійснює:

- передвикревлення сигналу із входу цифровим фільтром, що обрізає ВЧ;
- сегментний поділ сигналу на 160 вибірок (20 мілісекунд);
- аналіз сегменту відконм Хеммінга .

Потім для кожного 20-мс сегмента робиться оцінка п-три фільтру короткочасного лінійного передбачення - 8 коефіцієнтів часткової кореляції $k_i, i = 1, \dots, 8$ (порядок передбачення $M = 8$), які для перенесені по каналу зв'язку перетворюються в логарифмічні відносини площ g_i , причому для можливості логарифма застосовується кусково-лінійна апроксимація.

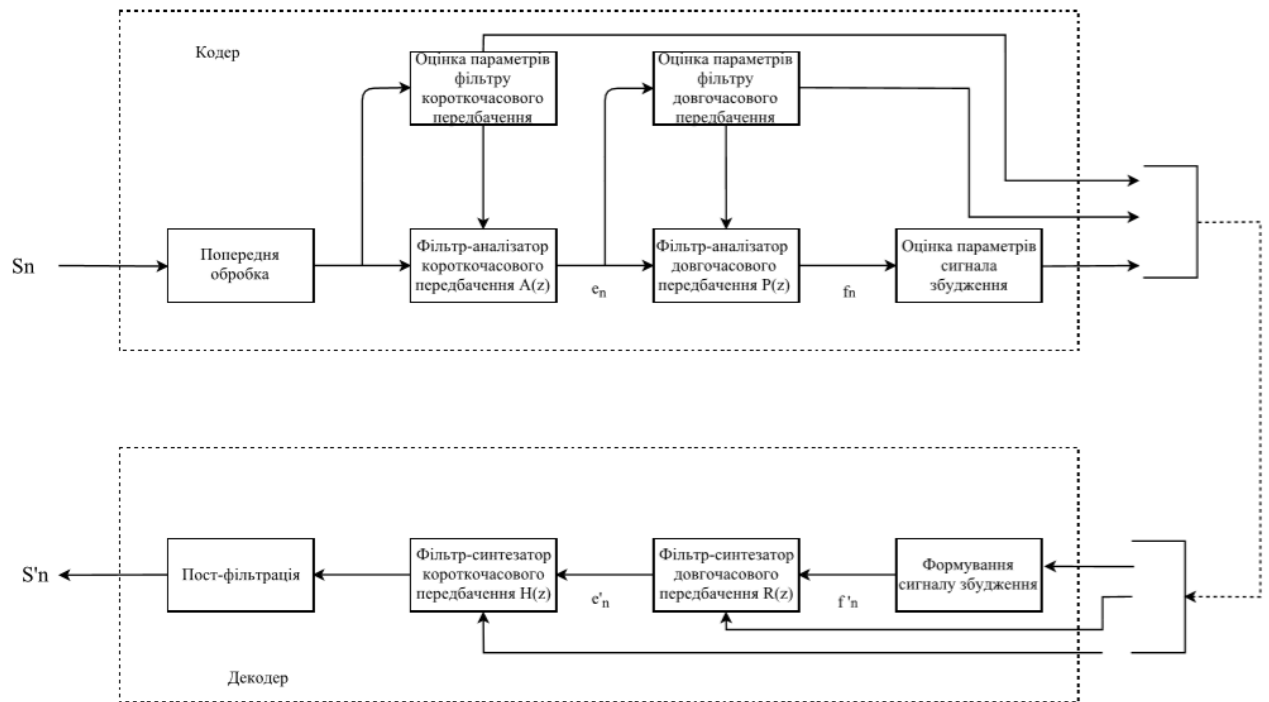


Рис.1.8. Спрощена модуль-схема кодера мовлення типу GSM

Сигнал з виходу модуля попередньої зміни обробляється гратчастим фільтром-аналізатором короткочасного лінійного передбачення, і по сигналу з виходу - залишку передбачення e_n - оцінюються п-три довгострокового передбачення: коефіцієнт передбачення g і затримка d . Сигнал e_n оброблюється фільтром-аналізатором довготривалого лінійного передбачення, а вихідний сигнал останнього - залишок передбачення f_n - фільтрується згладжуючим фільтром, і по ньому формуються п-три сигналу збудження, окремо для кожного з 40-вибіркових підсегментів.

Сигнал збудження 1-го підсегменту має 13-ть імпульсів, які прямують через рівні проміжки часу (втричі більші, ніж проміжок дискретизації вихідного сигналу), і мають різні амплітуди. Для формування сигналу збудження 40 імпульсів підсегментів згладженого залишку f_n оброблюються наступним чином. Останній (сороковий) імпульс відкидається, а перші 39 імпульсів розбиваються на три послідовності: в першій - імпульси 1, 4, ..., 37, у другій - імпульси 2, 5, ..., 38, у третій - імпульси 6, 6, ..., 49. Сигналом збудження виступає послідовність з більшою енергією. Амплітуда з найбільшим абсолютним значенням кодується шістьма bit в логарифмічному масштабі. Положення початкового імпульсу 1 три-елементної послідовності кодується двома bit, тобто номер послідовності, обраної в якості сигналу збудження для даного підсегменту.

Таким чином, вихідна інформація кодера мовлення для 1-го 20-мілісекундного сегмента мови має:

- п-три фільтра короткочасного лінійного передбачення - 8 коефіцієнтів логарифмічного відношення площ r_i , $i = 1 \dots 8$ - 1 набір на весь сегмент;
- п-три фільтру довготривалого лінійного передбачення - коефіцієнт передбачення g і затримка d - для кожного з чотирьох підсегментів;
- п-три сигналу збудження - послідовний номер n , max амплітуда v , нормовані амплітуди b_i , $i = 1, \dots, 3$, імпульсів послідовності - для кожного з чотирьох підсегментів.

Число bit, що відводяться на шифрування переданих параметрів, приведено в табл. 1.4.

Таблиця 1.4

Шифрування вихідної інформації кодера мови типу GSM і D-AMPS

П-три, які передаються	GSM		D-AMPS	
	Число bit	Примітки	Число bit	Примітки
П-три фільтру короткочасного передВачення (логарифмічні відношення площин r_i , $i = 1 \dots 8$)	триб	r_1, r_2 – по 6 bit $r_{\text{три}}, r_4$ – по 5 bit r_5, r_6 – по 4 bita r_7, r_8 – по три bita	три8	r_1 – 6 bit $r_2, r_{\text{три}}$ – по 5 bit r_4, r_5 – по 4 bita $r_6 \dots r_9$ – по три bita r_{10} – по 2 bita
П-три фільтру довготривалого передВачення (коефіцієнт передВачення k , затримка d , для кожного із 4 підсегментів)	триб	k – 2 bita, d – 7 bit	28	7 bit на кожен підсегмент
П-три сигналу збудження (номер послідовності n , коефіцієнт підсилення g , максимальна амплітуда v , нормована амплітуда імпульсів b_i , $i = 1, \dots, 1\text{три}$, для кожного із 4 підсегментів)	188	n – 2 bita, v – 6 bit, b_i – три bita	три2	g – 8 bit на кожен підсегмент
Всього на 20-мілісекундний сегмент	260		159	

Перейдемо до декодера. Послідовність виконуваних ним можливостей в загальному зрозуміла з нижньої частини модуль-схеми рис.1.2, і ми обмежимося невеликими поясненнями до неї. Модуль формування сигналу збудження, використовуючи прийняті п-три сигналу збудження, відновлює 1три-імпульсну послідовність сигналу збудження для кожного з підсегментів сигналу мовлення, включаючи амплітуди імпульсів і їх розташування у часі.

Висновки: шифрування мови в системі GSM має ряд переваг у порівнянні з системою D-AMPS

Таблиця 1.5

Характеристики систем шифрування мови в стандартах GSM і D-AMPS

Характеристика	GSM	D-AMPS
Метод шифрування	RPE-LTP	VSELP
Протяжність сегменту мову, який кодується	20	20
Частота бітової послідовності на вході кодера мови, kbit/c	64	64
Частота бітової послідовності на виході кодера мови, kbit/c	1три	7,95
Додатковий потік інформації для захисту від помилок (модульове і надточне шифрування), kbit/c	9,8	5,05
Додатковий потік керуючої і службової інформації (для зжимання TDMA), kbit/c	8,45	три,2
Коефіцієнт зжимання (для реалізації TDMA)	8	три
Додатковий потік керуючої інформації (після зжимання TDMA), kbit/c	20,8три	-
Швидкість перенесені інформації в каналі (частота бітової послідовності на виході кодеру каналу), kbit/c	270,8три	48,5
Полоса каналу, кГц	200	три0
Ефективність використання полоси частот, (bit/c)/Гц	1,три5	1,62

1.6 Боротьба з впливом багатопроменевого розповсюдження

1.6.1 Багатопроменеве розповсюдження і його прояви

Картина цього явища схематично зображується на рис.1.7. Фактично область істотних відбивань обмежується зазвичай невеликою територією МС. При переміщенні МС ця область рахується з ним. При сумі кількох сигналів, що прийшли з різних точок і в точці приймання зміщенні по фазі, сумарний сигнал може бути вищий ніж середній рівень. Викривлення кінцевого сигналу, чи як кажуть «інтерференція символів», буде лише тоді, коли синфазаний доданок сигналу в порівнянні до інших амплітуд буде різнитися по ходу, що символи 1-го сигналу налізуть на ближні символи другого.

Коливання близькі до рівню завмирання сигналу завжди складаються з двох частин – швидкої і повільної. Швидкі завмирання - наслідок такого поширення, описуються релеєвским законом поширення, і тому їх іноді називають релеєвским завмиранням. Зміна діапазону урвня сигналу при швидких завмираннях досягає 41 dB, де майже 10 dB – вище середнього рівня і 30 dB – провали, які знаходяться нижче цього рівня. При нерухомому клієнтському апараті інтенсивність сигналу, природно, не змінюється. При русі абонента періодичність флуктуацій в просторі дорівнює півхвилі, тобто майже 10 ... 15 см. Період флуктуацій у часі має залежність від швидкості пересування абоненту. Кількість завмирань глибина яких досягає $\pm 30 \dots 10$ dB при русі 50 км / год є 5 ... 50 секундних провалів, а середня протяжність завмирань нижче рівня $\pm 10 \dots 10$ dB при тій же швидкості - близько 0,2 ... 2.

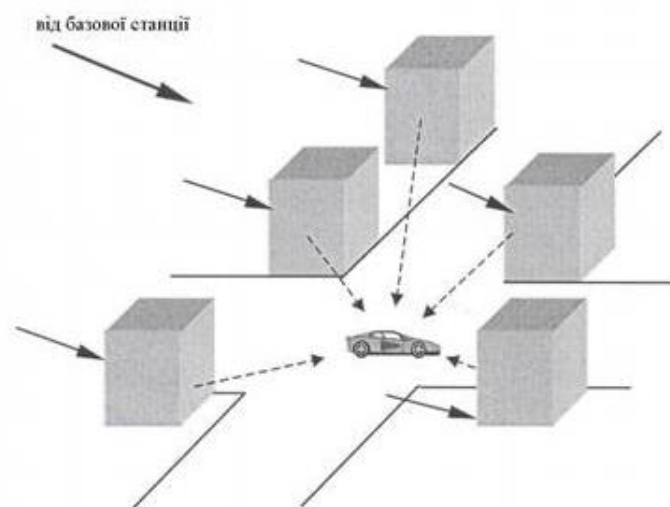


Рис.1.9. Схема всюдипроменевого рознесення в умовах міста

Повільні завмирання зумовлені зміненням умов при переміщенні абонента і залежить від нормального закону логарифмичного розподілу. кількість не швидких флуктуацій не перебільшує 5 ... 10 dB, а їх періодичність відповідає пересуванню клієнта на декілька метрів. Тому повільні завмирання це зміна сигналу по середньому рівні при русі клієнта.

Неприємними є швидкі завмирання, тому що вони можуть бути достатньо глибокі, і при цьому значення сигнал / шум може впасти дуже сильно, що корисна сигнальна інформація зазнає шумового мпотворення, аж до повної її втрати. Тому щоб боротися із такими завмираннями існують насупні способи:

					МП.171.081.006 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

- прийом по рознесенню, використання великою кількістю антен, що працюють на прийом;
- зміна спектрового розширення

У методі CDMA, при використанні сигналу із широкою смугою частот і рейк-Пм, потужні сигнали рівняються по затримці і після цього додаються. В малосмугових ССЗ, користуються методом TDMA, для боротьби з міжсимвольними скривленнями застосовуються еквалайзери. Також для боротьби з цим явищем розповсюдження, для помилкового усунення застосовується завадостійке шифрування каналу: модульове і згорткове шифрування. [6]

1.6.2 Рознесений прийом

Рознесений прийом (англійський термін diversity reception, або просто diversity - рознесення) як засіб боротьби із подібними завмираннями полягає в спільному використанні декількох сигналів, що розрізняються (рознесених) по певному параметру або координаті, причому це рознесення обертається так, що можливість завмирань всіх складових сигналу неможлива, ніж будь-якого 1-го з них.

Можливі наступні види приймання:

- з часовим рознесенням (time diversity): сигнали зсунуті в часі один відносно другого;
- з частотним рознесенням (frequency diversity): сигнали зсунуті по частоті один відносно другого;
- з кутовим рознесенням, або по напрямку (angle diversity, або direction diversity): при цьому прийманні сигналу забезпечують кілька антенних модулів з неузгодженими діаграмами спрямованості;
- з поляризаційним рознесенням (polarization diversity), коли відбувається прийом на антену в різних поляризаціях;
- з просторовим рознесенням (space diversity), сигнал приймається на антени, які рознесені у просторі одна відносно іншої;

Для останнього методу потрібно щонайменше два приймальних антенних модулі, зміщені один відносно іншого. Перевага від такого прийому більша при використанні більшої кількості таких антен. Тому практичне використання знаходить найпростіша система з двома приймальними антенами, і в основному в БС.

У разі двох антен, що працюють на прийом ефективна складова цього способу не є великою, і зазвичай користується попитом простіший з них - вибір максимального з двох сигналів з комутацією виходу відповідного Пм на вхід тракту подальшої обробки. [1]

1.6.3 Еквалайзинг

Еквалайзинг - метод, який використовують в малосмугових TDMA-системах СЗ для компенсації спотворень між символами. Еквалайзер - це адаптивний фільтр, налаштований таким способом, щоб вихідний сигнал був без спотворень між символами, що містяться у вхідному сигналі.

Сама проста реалізація еквалайзера (рис.1.8). Простий приклад того, що дана схема може послабити міжсимвольні спотворення. Нехай, що сигнал із входу еквалайзера складається з основного сигналу і його копії, яка послаблена в декілька разів в часі на

					МП.171.081.006 ПЗ	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

тривалість τ 1-го символу (другий графік на рис.1.9, а). Якщо дискрет очікуваної лінії фільтра дорівнює τ , а значення коефіцієнта в першому відведенні $c_1 = -1/3$, то при додаванні вхідного сигналу і сигналу з першого відводу отримаємо наступне (рис.1.9, б): основний сигнал (перша складова вхідного сигналу) залишається без змін; друга складова вхідного сигналу.

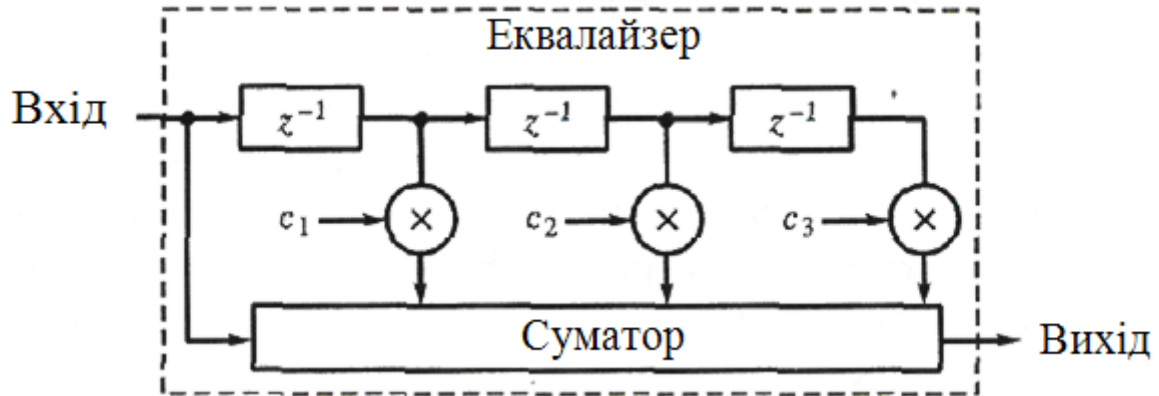


Рис.1.10. Лінійний еквалайзер на базі трансверсального фільтра з трьохелементної лінією чекання

компенсується першою частиною, затриманої на τ ; друга частина цього сигналу дає копію основного, але слабшу вже в 10 раз, затриману на 2τ і з від'ємним знаком. Якщо у другому відведенні лінії чекання коефіцієнт $c_2 = 1/9$, то при додаванні трьох сигналів - вхідного і двох затриманих - отримаємо незмінний основний сигнал і його копію, затриману на три τ і ослаблену в 27 разів. Таким чином, в розглянутому прикладі додавання кожного наступного елемента лінії чекання з відповідним значенням коефіцієнта c , призводить до ослаблення спотвореного сигналу втричі і до додаткової чекання його в часі на τ .

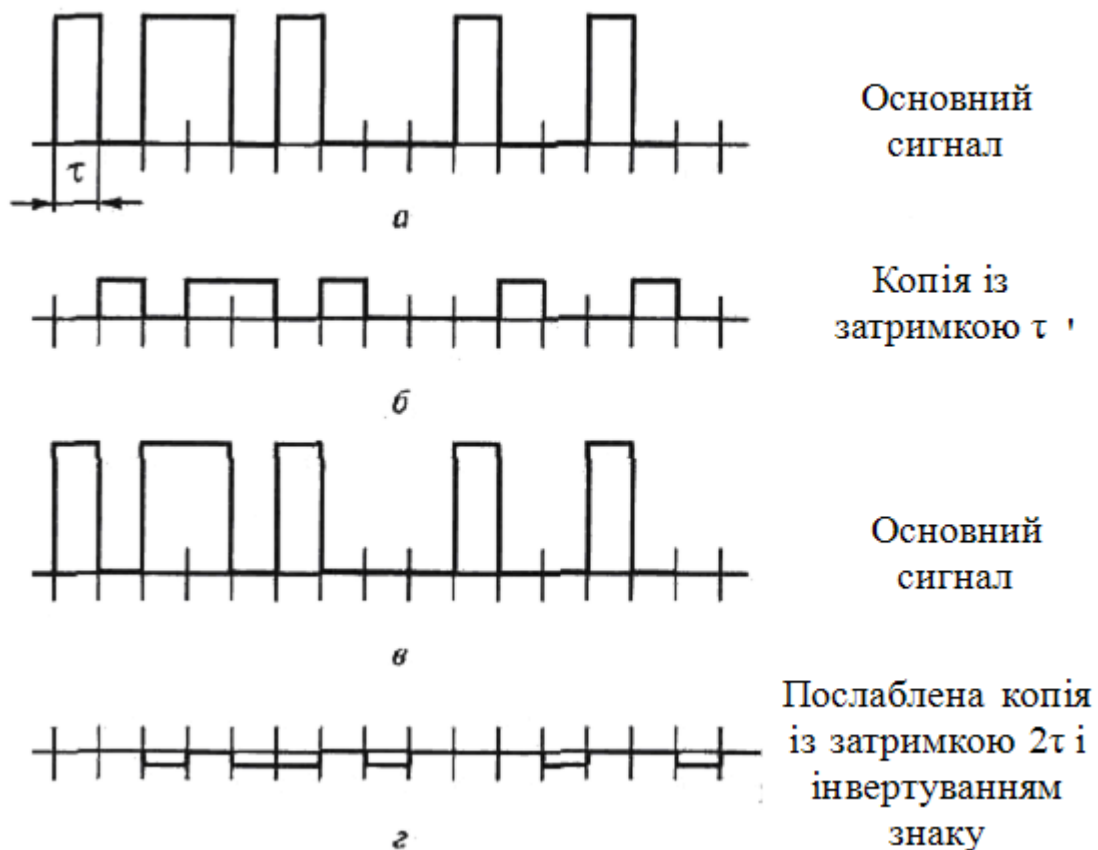


Рис.1.11. До пояснення роботи схеми еквайзера

Простий алгоритм налаштування фільтра, що зменшує середній квадрат помилки на його виході - стохастичний градієнтний алгоритм, відповідно до якого вектор C коефіцієнтів фільтра оновлюється в результаті послідовного використання рекурентної процедури:

$$C_{k+1} = C_k + \mu e_k X_k, \quad k = 0, 1, \dots$$

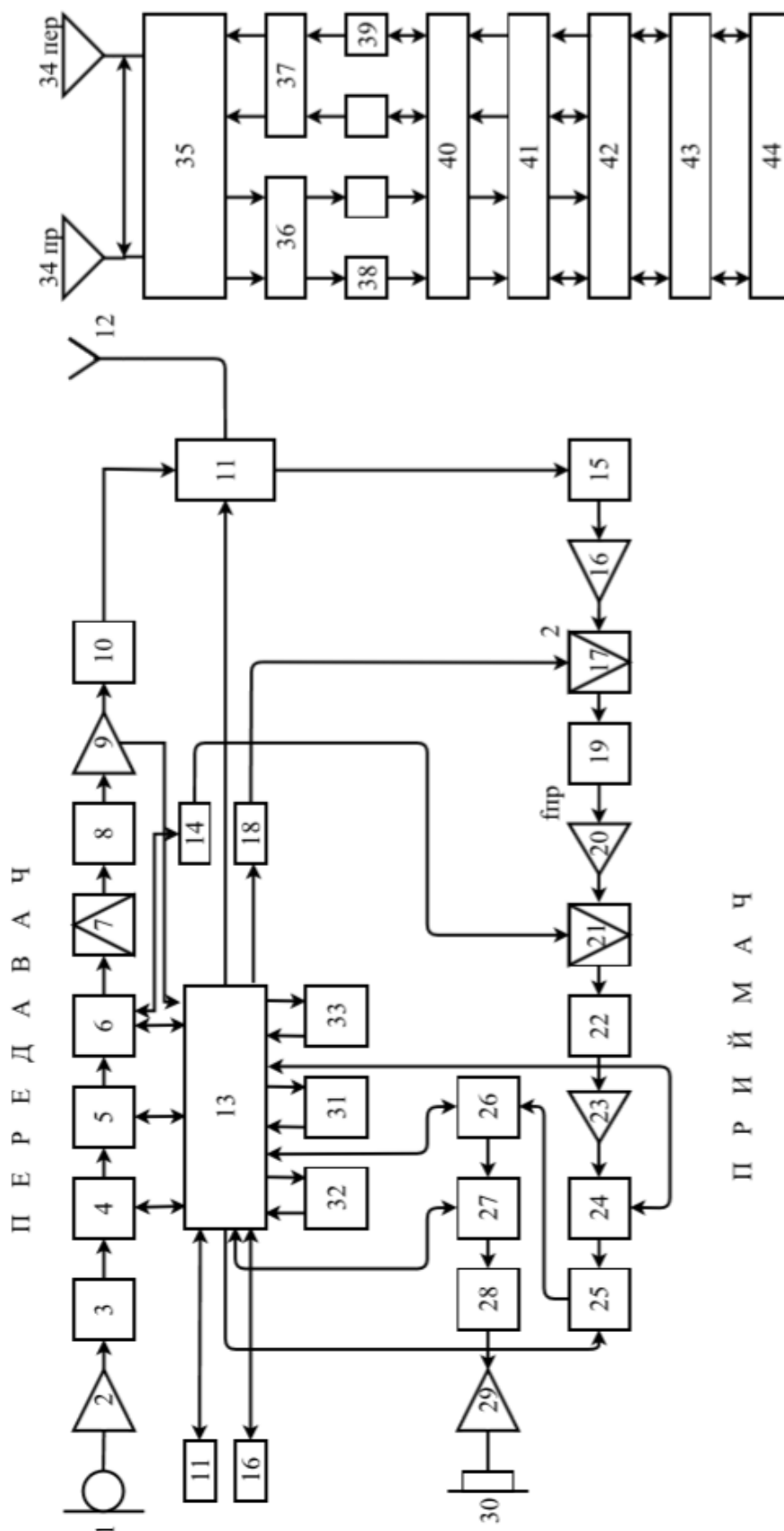
де, k - номер кроку ітераційного процесу настройки, X - вектор вибірок вхідного сигналу фільтра, e - сигнал помилки (різниця між переданим символом і його оцінкою на виході фільтра), μ - коефіцієнт пропорційності (величина кроку), що визначає швидкість збіжності ітераційного процесу і запас стійкості.

Висновки: розглянуто одну з основних проблем ССЗ, таку як багатопроменеве розповсюдження, його прояви та методи боротьби з ним - рознесення прийом, а саме з рознесенням в просторі (space diversity), тобто з прийомом сигналів на кілька просторово рознесених антен. Це єдиний метод, що знаходить практичне застосування.

2. ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА

2.1 Модуль схема мобільної станції

					МП.171.081.006 ПЗ	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Модуль-схема мобільної станції (рис.2.1) має:

Рис.2.1. Модуль схема мобільної станції

1- **Мікрофон**, у якому мовний сигнал трансформується в електричний, ширина спектра якого обмежена фільтром і становить 4 КГц.

2- **Підсилювач низької частоти (ПНЧ)**

3- **АЦП мовного сигналу**

Мовний сигнал, перетворений мікрофоном в електричний аналоговий сигнал і посилений ПНЧ, надходить в АЦП, на виході якого мовний сигнал трансформується в цифрову форму і далі обмін сигналу мовлення проводиться в цифровій формі.

4- **Кодер мови** здійснює шифрування мовного сигналу.

5- **Кодер каналу** додає в сигнал, який надходить з виходу мовного кодеру, додаткову (надлишкову) інформацію, яка захищає сигнал від помилок;

6- **Частотний маніпулятор (ЧМ)** реалізує гаусову маніпуляцію з мінімальним частотним зрушенням (GMSK - Gaussian Minimum Shift Keying), тобто реалізує транспортування цифрового сигналу в область радіочастотного каналу. У типі GSM з модуляцією GMSK добуток BT_6 , що визначає частоту зрізу передмодуляційного гаусівського фільтра, дорівнює $BT_6 = 0,3$ (де B - смуга частотного спектра, T_6 - протяжність біта повідомлення). Таке значення добутку BT_6 досягається шляхом складної апаратної реалізації для збільшення необхідного відношення C / N (сигнал / перешкода) і зменшення впливу умов поширення радіохвиль і неідеальності апаратури. При GMSK забезпечується високий ККД підсилювача потужності і прийнятна стійкість: ймовірність помилки $P_n = 10^{-3}$ при $C / N = 10 \text{ dB}$ (C / N - сигнал / шум).

7- **Змішувач (ЗМ)** призначений для отримання сигналів на виході фазового модулятора з діапазоном частот 890 ... 915 МГц під дією сигналу, що надходить з синтезатора частот, керованого з СРІ.

8- **Фільтр (Ф)** (зазвичай виконується з кремнію) налаштовується на одну з обраних логічним модулем 1 три несучих частот та здійснює фільтрацію вищих гармонік, які завдяки паразитним зв'язкам надходять з сусідніх Кн.

9- **Пд потужності (ПП)** не тільки підсилює високочастотний сигнал з виходу модуля 8, а й під дією команд з СРІ змінює коефіцієнт посилення (тобто використовує режим нелінійного підсилення), зберігаючи поміхостійкість, тим самим в залежності від відстані між МС і БС вихідна потужність Пда МС автоматично регулюється: чим ближче МС до БС, тим менше потужність Пда МС, тим менше потужність, яка випромінюється антеною МС.

10- **Фільтр селекції** – обробляє високочастотний сигнал на виході ПП та в режимі передавання мовного сигналу подає його на антенний перемикач.

					МП.171.081.006 ПЗ	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

11- **Антенний перемикач** – електронний перемикач, що управляється від логічного модуля 1три та підключає вхід антени або на вихід Пд, або на вхід Пм. Пд та Пм працюють одночасно. Режим передавання здійснюється тільки під час 1/8 довжини кадру – це зменшує витрати енергії акумуляторної батареї як при розмові, так і при слуханні відповіді, а при перенесені – мовного чигналу.

12- **Антенна** – провідник або система провідників, які використовуються для випромінювання або для уловлювання електромагнітної енергії з простору. Для перенесені сигналу радіочастотні імпульси передавальника за допомогою антени перетворюються у електромагнітну енергію, котра випромінюється у оточуючий простір, атмосферу, космос. Високочастотний сигнал в діапазоні 9три5 ... 960 МГц приймається антеною і через антенний перемикач (мається СРИ в режимі прийому) надходить в **ВЧ фільтр (зазвичай фільтр ПАХ)- керамічний фільтр)**, посилюється в **ВЧ малошумному підсилювачі**.

14- **I / Q генератор** призначений для формування сигналу, що модулюється з сформованого цифрового сигналу при безпосередньому управлінні від СРУ.

15- **ВЧ керамічний фільтр поверхневої акустичної хвилі**

16- **ВЧ Пд**

17- **Перший змішувач ЗМ-1** дозволяє зрушити сигнал в більшу НЧ область, при чому на вхід 2 ЗМ-1 гетеродинний сигнал подається з синтезатора частот, **фільтр зосередженої селекції на ПАХ** робить виділення сигналу з першої проміжної частоти і далі цей сигнал посилюється в тракті **підсилювачів першої проміжної частоти**

18- **Синтезатор частот (СЧ)**, що отримує команди з керуючого модулю СРИ, виробляє сигнал, який подається на другий вхід змішувача. СЧ є задавальним генератором коливальних високої несучої частоти для перенесені інформації Пму по радіоканалу. В типі GSM здійснюються повільні стрибки з переключенням по частоті у кожному черговому кадрі. У кадрі кожному фізичному каналі відповідає 1 слот, тому, для першого ліпшого з фізичних кадрів сигналу така частота стрибків еквівалентна зміні частотних Кн з частотою слотів.

19- **Фільтр селекції на ПАХ**

20- **Пд на першій проміжній частоті** підвищує амплітуду цього сигналу до рівня, якого потребує наступний перетворювач частоти.

21- **Другий змішувач (ЗМ-2)** на першому вході має сигнал першої проміжної частоти, а на другому – сигнал гетер1а, а на виході виробляє сигнал другої проміжної частоти.

22- **Фільтр зосередженої селекції на ПАХ** виділяє сигнал другої проміжної частоти.

23- **Підсилювач на другій проміжній частоті** підсилює сигнал до необхідного рівня та передає його до модулю демодуляції.

					МП.171.081.006 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

24- **Модуль демодуляції.** У блоці сигнал спочатку демодулюється в фазовому демодуляторі , при цьому на вхід канального еквалайзера він надходить у вигляді цифрового відеосигналу;.

25- **Еквалайзер** приймає на вході демодульований цифровий відеосигнал. Призначення еквалайзера – суттєве послаблення спотворень у вигляді міжсимвольної інтерференції, яка обумовлена різницею ходу між складовими радіопроменю при багатопроменевому розповсюдженні, та викликана певною кількістю відбивань радіопроменя від перешкод і може призвести до помилок та перекручень на прийомі.

26- **Декодер каналу** реалізує процес, зворотній до шифрування і здійснює декодування всього потоку інформації.

27- **Декодер мови** декодує цифровий потік мовної інформації для подальшого трансформування її з цифрової форми в аналогову в ЦАП.

28- **ЦАП** містить формувач сигналу збудження, фільтр-синтезатор з довгостроковим пророкуванням, фільтр-синтезатор з короткочасним пророкуванням, пост-фільтр.

29- **ПНЧ**

30- **Телефон МС.**

31- **SIM-карта,**

32- **Пам'ять системи.**

33- **Детектор мовлення** (VAD - Voice Activity Detector), який застосовується для економності енергії, що надходить від джерела живлення, зниження рівня перешкод, які створюються для інших станцій при працюючому Пд, а також має роботу Пда на випромінювання тільки в певні проміжки часу, коли клієнт говорить (тобто коли мікрофон посиляє аналогові мовні сигнали в тракт перенесені). На час паузи в приймальний тракт вводять комфортний шум. При потребі в МС можуть входити окремі термінальні пристрої, що перемикаються через спеціальні адаптери з застосуванням відповідних інтерфейсів.

34- **Антенний модуль** складається з двох рознесених антенних девайсів, які забезпечують режим приймання-передавання за допомогою електронного перемикача. У звичайній стільниковій системі зв'язок між БС та МС забезпечується за допомогою некерованої або секторної антени. Типові електронні антени випромінюють або приймають сигнали в секторі 60° , 120° або 180° .

35- **Електронний антенний перемикач** з'єднує антену з вихідним модулем Пд (триб) або вхідним модулем Пм (три7).

					МП.171.081.006 ПЗ	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

36- **Електронний суматор** забезпечує у режимі передавання вихід на антенну систему (три4) з N Пдів, виконуючи сумування вихідних потужностей з N вихідних каскадних Пдів.

37- **Пд БС** з кількістю N, які мають ту ж саму структурну схему, як у МС, за винятком того, що відсутні АЦП та ЦАП, тому що вихідні сигнали Пдів мають цифрову форму, а також мають загальні опорні генератори, які забезпечують їх узгоджене налаштування при переході з 1-го каналу на інший.

38- **Електронний подільник** забезпечує одночасну роботу у режимі прийому N Пм, на вихід якого приходить сигнал, прийнятий з виходу антени, а з N виходів – передається на вхід N Пм. В режимі прийому електронний подільник здійснює поділення напруги прийнятого сигналу на N входів підсилювачів на польовому транзисторі з бар'єром Шоткі.

39- **Пм БС** (кількісно N) у режимі прийому (модуль триб) одночасно приймають з виходу подільника три8 антенної системи сигнал для подальшої обробки.

40- **Модуль з'єднання** здійснює упаковку цифрової інформації, що передається по ЛЗ на контролер БС та розпакову цифрової інформації, що надходить від нього.

41- **ЛЗ** передає упаковану цифрову інформацію на **контролер БС**.

42- **Контролер БС** забезпечує контролювання роботою усіх БС у зоні сервісу, а також контроль працездатності усіх модулів та вузлів, що входять до **обладнання БС**.

43- Далі по **ЛЗ** здійснюється обмін інформації від контролера БС в ЦК.

44- **ЦК** та **контролер БС** забезпечують контролювання роботою усіх модулів та вузлів, що входять до **обладнання БС**. [2;5]

2.2 Мобільний зв'язок типуLTE

LTE (Long Term Evolution) - це глобальний стандарт для 4-го покоління мобільних мереж (4G).LTE є вдосконаленим продовженням технологій третього покоління CDMA і UMTS (3G). Швидкість перенесені даних в мережах LTE досягає 173 Mbit / с на прийом і 58 Mbit / с на перенесення.

2.2.1 Структура мережі типу LTE

					МП.171.081.006 ПЗ	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

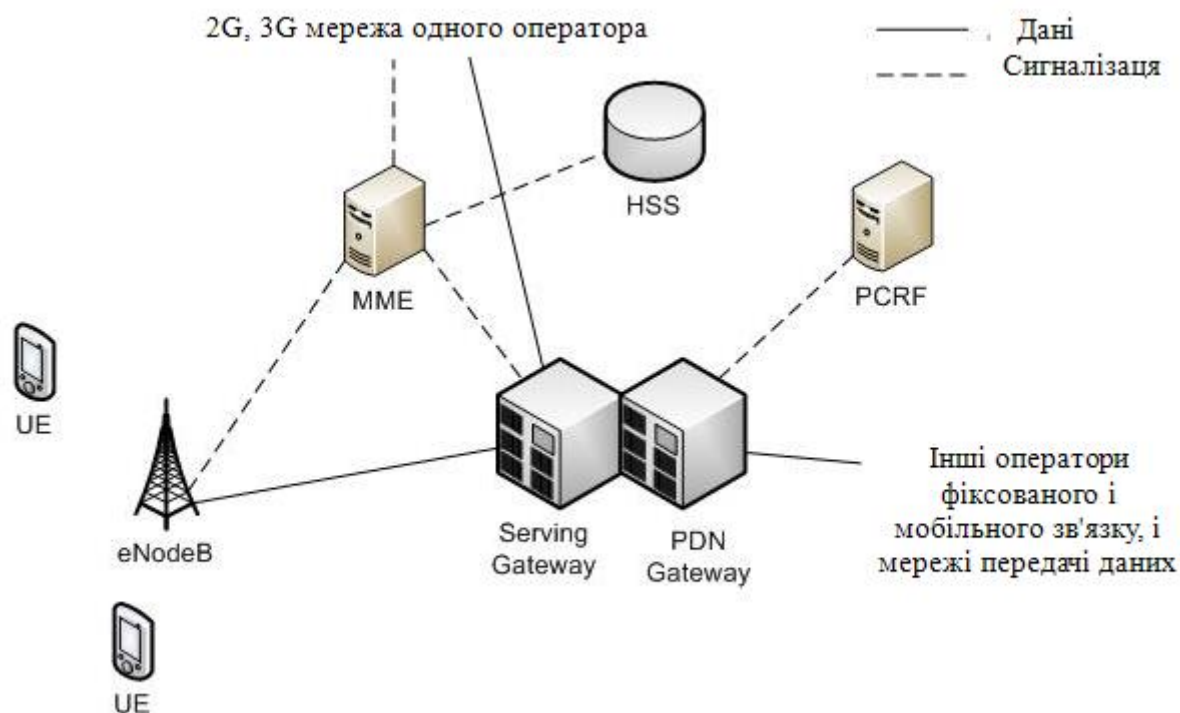


Рис.2.2. Структура мережі типу LTE

Схема дає змогу зрозуміти, що існує велика різниця 2G і 3G. Істотні зміни зазнала і підсистема БС, і підсистема з'єднання.

Можна виділити наступні основні складові мережі типу LTE:

- Serving SAE Gateway або просто Serving Gateway (SGW) – шлюз для обслуговування стандарту LTE. Основне призначення якого: аналіз і маршрутизація пакетних даних, що надходять з / в підсистему БС. SGW це пряме з'єднання з мережами 2-го і 3-го покоління того ж оператора, що спрощує перенесення з'єднання в / з них з причин погіршення зони покриття, перевантажень і т.п..
- Public Data Network SAE Gateway або просто PDN Gateway (PGW) - шлюз до мереж перенесені даних інших операторів для мережі LTE. Основне завдання PGW полягає в маршрутизації трафіку мережі LTE до інших мереж перенесені даних
- Mobility Manag entity (MME) – керує мобільність мережі СЗ типу LTE. Здійснює обробку інформації, яка пов'язана з керуванням мобільністю абонентів в мережі.
- Home Subs Server (HSS) - сервер клієнтських даних мережі СЗ типу LTE. Є великою базою даних і здійснює зберігання даних про клієнтів.
- Policy and Charging Rules Function (PCRF) - елемент мережі мобільного зв'язку типу LTE, що забезпечує керування абонплатою за послуги зв'язку, а також за якість з'єднань відповідно до заданих конкретному клієнту характеристиками. [16;18;19]

2.2.2 Організація інформаційних Каналів

Для того, щоб показники могли бути транспортовані через інтерфейс LTE, використовуються різні Кн. Ними користуються тому, щоб виділяти не однакові стандарти даних інформації і надати їм можливість транспортування через мережу доступу більш ефективно. При наявності декількох Кн забезпечує інтерфейс більш високого рівня в межах стандарту LTE і включають більш чітку і визначену сегрегацію даних.

Існує три категорії, які здійснюють перенесення інформації:

					МРП.171.081.006 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

- Логічні канали - надає послуги середнього рівня управління доступом MAC (Medium Access Control) в межах структури протоколу LTE. ЛК на кшталт переданої інформації діляться на ЛК контролювання і ЛК трафіку. ЛК контролювання використовуються для перенесенні різних сигнальних та інформаційних повідомлень. За ЛК трафіку передають призначені для клієнта показники.
- Транспортні канали (ТК) - ТК фізичного рівня пропонують перенесення інформації в MAC і вище. Інформацію лк після обробки на RLC / MAC рівнях розміщують в ТК для подальшої перенесенні по радіоінтерфейсу в ФК. ТК визначає як і з якими характеристиками відбувається обмін інформації радіопослуг. Інформаційні повідомлення на транспортному рівні розбивають на транспортні модульи. В кожному часовому проміжку перенесенні (Transmission Time Interval, TTI) радіопослуга передають хоча б 1 транспортний модуль. При застосуванні технології MIMO можлива обмін до чотирьох модульів в одному TTI.
- Фізичні канали - це канали перенесенні, які переносять призначені для клієнта показники і керуючі повідомлення. Вони змінюються між висхідним і спадним потоками, оскільки кожен з них має різні вимоги і діє по-своєму. [16;18;19]

2.3 Характеристика каналу зв'язку

Канал зв'язку характеризується трьома параметрами:

1. **ефективно переданою смугою частот каналу P_k** , яку канал здатний пропустити з виконанням вимог до якості перенесенні сигналів;
2. **часом T_k** , протягом якого канал надано для перенесенні сигналів або повідомлень;
3. **динамічним діапазоном каналу**

$$D_k = 10 \lg \frac{P_{k, \max}}{P_{k, \min}}, \quad (2.1)$$

де, $P_{k, \max}$ –максимальна неспотворена потужність, яка може бути передана по каналу; $P_{k, \min}$ - мінімальна потужність сигналу, при якій забезпечується необхідна захищеність від перешкод.

Очевидно, що обмін сигналу з ефективно переданою смугою частот P_c , тривалістю T_c і динамічним діапазоном D_c по каналу з параметрами P_k , T_k і D_k можлива за умови

$$P_k > P_c; T_k > T_c; D_k > D_c.$$

(2.2)

Іншими словами, зазначені вище п-три для конкретного сигналу, що передається, не повинні перевищувати значень, властивих каналу зв'язку.

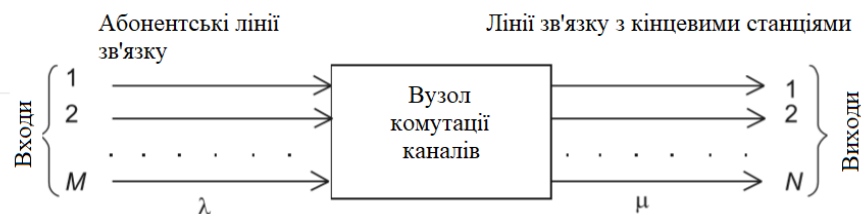


Рис.2.3. Модель вузла з'єднання

Добуток трьох параметрів каналу $V_k = P_k T_k D_k$ називається **ємністю каналу**. Сигнал може бути успішно переданий по каналу, якщо його ємність перевищує обсяг сигналу $V_c = P_c T_c D_c$. Якщо система нерівностей (2.2) не виконується, то можлива зміна 1-го з параметрів сигналу для узгодження обсягу сигналу з ємністю каналу. Отже, **умову можливості перенесенні сигналу по каналу** можна уявити в узагальненому вигляді:

$$V_k > V_c. \quad (2.3)$$

Канал характеризується захищеністю

$$A_K = 10 \lg \frac{P_{K. \min}}{P_{K. \text{пер}}}, \quad (2.4)$$

де, $P_{K. \text{пер}}$ - потужність перешкод в каналі.

Пропускна здатність каналу зв'язку, що представляє максимально можливу для даного каналу швидкість перенесені інформації, описується наступним виразом:

$$I_K = 3,32 P_K \lg \left(1 + \frac{P_{K. \text{сер}}}{P_{K. \text{пер}}} \right), \quad (2.5)$$

де, $P_{K. \text{сер}}$ - середня потужність переданого по каналу сигналу.

При комутації K_n мережа повинна надати канал (електричний ланцюг) від джерела до одержувача на час сеансу зв'язку. ФК може складатися з ліній зв'язку, які з'єднуються 1 з одним у вузлі комутації.

Розглянемо узагальнену модель вузла комутації (рис. 2.3), що представляє сукупність засобів комутації та управління, що забезпечують фізичне з'єднання M вхідних (клієнтських) ліній зв'язку з N кінцевими станціями мережі. Тут ФК може бути представлений каналом тональної частоти аналогової системи перенесені або цифрової системи перенесені з тимчасовим поділом.

Будь-яка з M клієнтських ліній зв'язку може генерувати виклик або бути вільною протягом проміжку часу τ , розподіленого за експоненціальним законом із середнім значенням $1 / \lambda$:

$$p(\tau) = \lambda \exp(-\lambda \tau). \quad (2.6)$$

Виклик може бути обслужений протягом деякого випадкового проміжку часу, розподіленого за експоненціальним законом із середнім значенням $1 / \mu$.

Нехай виклик, що надійшов на будь-який вхід, займає будь-який вільний вихід. Якщо всі виходи вузла комутації зайняті, то виклик модулюється. При цьому система відмовляє клієнту в обслуговуванні.

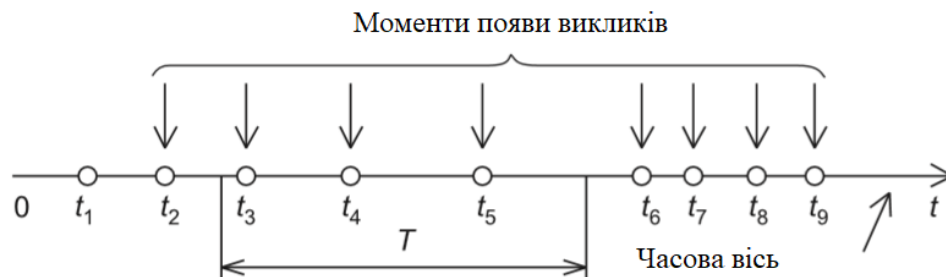


Рис.2.4. Моменти появи потоку викликів

Якість будь-якої мережі зв'язку з комутацією K_n визначається ймовірністю (успішністю) проведених з'єднань, що залежить від:

- **кількості клієнтів $n_{аб}$** (рухомих девайсів в радіомережі);
- **частоти викликів $F_{\text{викл.}}$** , що представляє кількість дзвінків, що припадають на 1-го клієнта в гл;у;
- **середньої часу кожного повідомлення τ_c** .

Для випадків $M \gg N$, які часто зустрічаються на практиці, надходження викликів на входи вузла комутації задовольняє трьом умовам:

1. Якщо розташувати виклики по осі часу t (рис. 2.4), то ймовірність попадання заданого кількості викликів на відрізок T залежить тільки від довжини цього відрізка, а не від положення відрізка на часовій осі. Останнє вказує на те, що виклики розподілені по часу з однаковою щільністю λ , яка характеризує середню кількість викликів в 1ицю часу.

2. Виклики розподіляються в часі незалежно 1 від 1-го. Це означає, що ймовірність попадання заданого кількості викликів на обраний відрізок часу не залежить від того, скільки викликів потрапило на будь-який інший відрізок, що не перекривається з ним.
3. Імовірність появи двох і більше викликів в 1 момент часу дорівнює нулю.

Для аналізованого потоку викликів **ймовірність модульовання** (відмови в обслуговуванні виклику через зайнятість усіх N виходів) **описується розподілом Ерланга**

$$p_N(Y) = \frac{Y^N}{N!} \left(\sum_{n=0}^N \frac{Y^n}{n!} \right), \quad (2.7)$$

Навантаження $Y = \lambda / \mu$, створюване одним джерелом викликів, дорівнює добутку інтенсивності викликів λ на протяжність сервісу $1 / \mu$.

Строго кажучи, розподіл (2.7) вірний при $M \rightarrow \infty$. Використання (2.7) при інженерних розрахунках мережі з великою кількістю входів дає деяку похибка, але вона цілком прийнятна.

Зайнятість каналу оцінюють в «годину пік» в процентному відношенні по формулі

$$Y [\%] = \frac{n_{аб} F_{викл} [1/год] \tau [с]}{\text{триб}}, \quad (2.8)$$

Зайнятість може бути також виражена в Ерлангах (Ерл). В цьому випадку за 1 Ерл прийнята 100% зайнятість каналу безперервним потоком. Зайнятість менше, ніж 100%, виражається десятковим дробом, наприклад, три0% зайнятості становить 0,три Ерл.

Зайнятість каналу може виражатися в 1ицях трафіку (повідомлень, надісланих та отриманих по лінії зв'язку). Під терміном «трафік» (traffic - телефонне навантаження) мається на увазі навантаження, створюване потоком викликів, вимог, повідомлень, що надходять на входи системи.

Трафік може вимірюватися в часо-заняттях або ерлангах, причому 1 Ерл дорівнює 1 часо-заняттю в г1у.

Трафік, що створюється одним джерелом, це середнє числу одночасних занять протягом однієї г1и і може бути розрахований за формулою

$$Y[\text{Ерл}] = \frac{n_{викл} \tau_c}{T}, \quad (2.9)$$

де, $n_{викл}$ - кількість викликів за час T.

Якщо відомо, що протягом часу T фіксуються часу τ_{ci} всіх $n_{викл}$ занять виходів вузла комутації, то

$$Y = \frac{1}{T} \sum_{i=1}^{n_{викл}} \tau_{ci}. \quad (2.10)$$

Нарешті, нехай протягом часу T виконується n спостережень через рівні проміжки часу Δt за кількістю x_i одночасно зайнятих виходів вузла комутації. Тоді

$$Y = \frac{\Delta t}{T} \sum_{i=1}^{n_{викл}} \tau_{xi}. \quad (2.12)$$

Величина Y тут представляє середню кількість одночасно зайнятих виходів вузла комутації протягом часу T. Перед тим як розглянути особливості перенесені повідомлень в СПС, розглянемо основні п-три трафіку.

Інтенсивність трафіку A визначимо як добуток середньої кількості викликів за 1ицю часу R_{call}, c^{-1} , на середню протяжність зв'язку T_{call}

$$A = R_{call} T_{call}. \quad (2.1\text{три})$$

Припустимо, що кількість клієнтів посилають виклики набагато більше кількості K_n зв'язку C між терміналами і перервані виклики не зберігаються. Тоді **ймовірність зайнятості n K_n ($n \leq C$)** оцінюється виразом

$$E_n(A) = \frac{A^n}{n!} \left(\sum_{k=0}^C \frac{A^k}{k!} \right)^{-1}, \quad (2.14)$$

а ймовірність переривання виклику ($n = C$)

$$B(C, A) = E_C(A). \quad (2.15)$$

На рис. 2.5 зображена залежність необхідної кількості K_n зв'язку від інтенсивності трафіку і ймовірність переривання виклику.

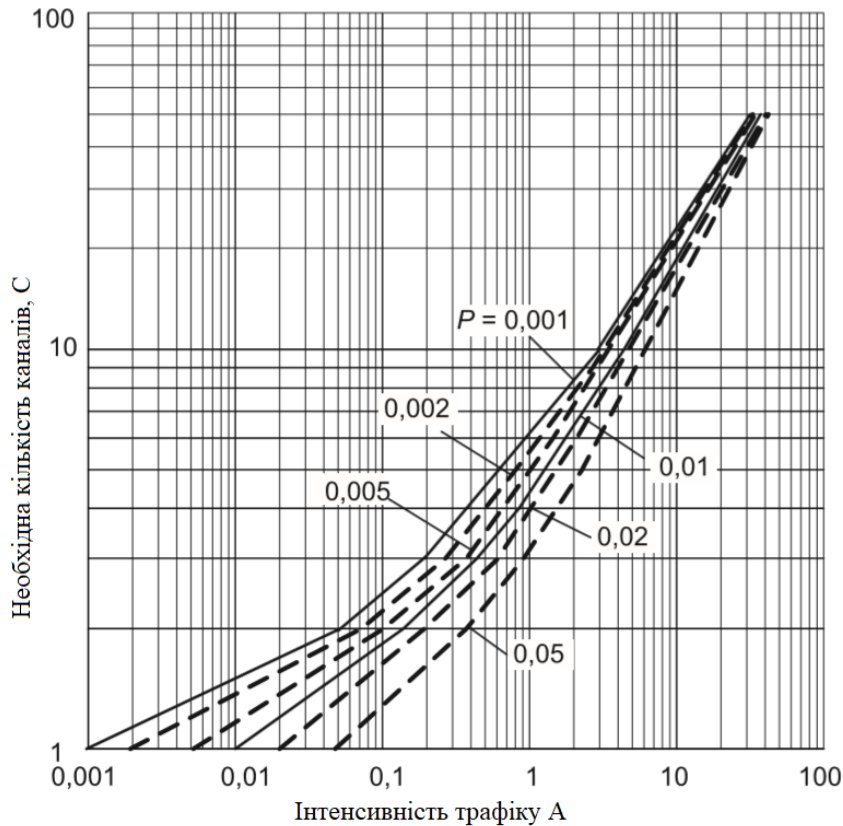


Рис. 2.5. Залежність необхідної кількості K_n зв'язку від інтенсивності трафіку і ймовірність переривання виклику

Необхідна кількість K_n будемо оцінювати співвідношенням

$$C = A + \alpha \sqrt{A} \quad (2.16)$$

де, α - степеневий показник множника $10^{-\alpha}$ - характеризує об'єктивну ймовірність переривання зв'язку.

Після встановлення зв'язку відбувається обмін інформації. Пакетна обмін даних відноситься до імпульсного типу перенесені даних. Інформація передається у вигляді пакетів даних, які генеруються через різні проміжки часу. Зазвичай це відбувається, коли персональний комп'ютер активується оператором після деякого простою або при дії спеціальних протоколів перенесені інформації, розділеної в передавальному терміналі на фрагменти, які для подальшої перенесені передавальним терміналом фіксуються в приймальному терміналі у вигляді коротких повідомлень. Найпоширеніший приклад - трафік, що генерується TCP / IP (Transmission Control Protocol / Internet Protocol - протокол управління передачею / протокол Інтернету). Пакетна обмін даних характеризується деяким **показником розрідженості**, який визначається як відношення пікової швидкості перенесені джерела активної інформації до середньої швидкості перенесені:

$$BU = R / \lambda L, \quad (2.17)$$

де, R - пікова швидкість перенесені, bit / c; λ - частота повторення повідомлення, c^{-1} ; L - довжина повідомлення, bit.

Безперервна інформація відповідає низькій розрідженості пакетної перенесені (потоківий трафік з BU порядку 1-5), в той час як трафік з довгими перериваннями характеризується великою розрідженістю ($BU = 10^3 \dots 10^5$). [1;5;6;9]

2.4 Панельна антена для БТС

Найбільш розповсюджена серед усіх типів антен – панельна секторна антена. Вони призначені для організації покриття певної області і саме через них випромінюється сигнал до мобільних станцій клієнтів і приймається від них.



Рис. 2.6 Зовнішній вигляд панельної антени базової мобільної станції

Секторна антена або "секторна панель" - це спрямована антена для зовнішніх застосувань. Вони найчастіше використовуються базовими станціями і їх можна побачити, вивішеними на вежах мобільного зв'язку. Вони являють собою довгі вузькі антени з високим посиленням. Секторні антени складаються з масиву диполей, розміщених перед фігурним відбивачем. Розмір і форма відбивача визначають продуктивність цих антен. Відбивач зазвичай плоский з деякими хребтами або іншими ознаками по краях.

Секторна антена майже завжди класифікується за її шириною пучка три-dB площини азимута. Вони зазвичай доступні кутом розкриття діаграми направленості на 60 градусів, 90 градусів і 120 градусів. Зазвичай сектори розгортаються вище в повітрі, а висота розгортання допомагає вибрати необхідну антену, оскільки це впливає на посилення та дальність зони антени.

Основний відбиваючий екран секторної антени - рефлектор складається з алюмінію, а антена має радіо, який зазвичай розробляється із склопластикового матеріалу, що забезпечує збереження компонентів всередині антени і дозволяє антені протистояти суворим погодним умовам, а також не погіршує коефіцієнт стоячої хвилі і не впливає на діаграму направленості антени завдяки низькому коефіцієнту діелектричної проникності. Секторні антени широко використовуються для мобільного зв'язку. Найбільше використання цих антен для базових станцій мобільного.

					МП.171.081.006 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

Площа покриття секторних антен визначається проекцією картини випромінювання на землю – діаграма направленості, яку можна регулювати, змінюючи кут нахилу антени антени. У деяких моделях це робиться механічно шляхом ручного регулювання нахилу антени за допомогою регульованого кронштейна. В останніх галузевих антенах модель може бути нахилена електронним шляхом, регулюючи фазові перемикачі в подачі окремих дипольних складових антени. Вони регулюються схемою дистанційного контролювання від землі, що виключає необхідність підніматися на вежу антени.

Зовнішня панельна антена поліпшує якість мобільної мережі в місцях зі слабким і невпевненим сигналом. Функціональні особливості панельної антени дозволяють створювати надійне підключення клієнтів мобільних послуг незалежно від дальності розташування БС.

Основна перевага панельної антени - великий коефіцієнт посилення, а значить, велика дальність зони сервісу клієнтів, тобто збільшення ефективної зони використання для однієї БС.

Висновки: розглянуто модуль-схему мобільної станції, її основні компоненти, принцип їхньої дії та можливості, які вони виконують; проаналізовано ССЗ типуLTE, структуру, принцип її дії та побудову ФК, ЛК та ТК; визначено основні характеристики та п-три каналу зв'язку; проаналізовано основні переваги панельних антен.

					МП.171.081.006 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

3. РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА

3.1 Розрахунок основних параметрів лінії мобільного зв'язку типу LTE

Обчислення кількості сот в планованій мережі LTE. Для того щоб обчислити кількість сот в мережі слід розрахувати загальна кількість Кн, що потрібні для розгортання необхідної мережі LTE. Загальна кількість Кн N_k визначається днаступною формулою: $N_k = \text{int} (\Delta f / f_k)$

де, Δf – виділена смуга частот для роботи мережі, яка рівна 80 МГц; f_k – смуга частот 1-го каналу.[4]

У мережах LTE під радіоканалом мається на увазі такий термін, як ресурсний модуль (РБ), який володіє шириною 180 кГц,.

$$N_k = \text{int} (80 \cdot 10^6 / 180 \cdot 10^3) = 444 \text{ Кн}$$

Визначення розмірності кластера.

$$p(C) = \left[\frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{X_1}^{\infty} \exp\left(-\frac{x^2}{2}\right) dx \right] \cdot 100$$

де, $p(C)$ - відсоток часу, за який відношення сигнал/шум на вході Пма знаходиться нижче захисного відношення P_0 . [4] Інтеграл представляє собою табульовану Q-функцію

$$Q(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{X_1}^{\infty} \exp\left(-\frac{x^2}{2}\right) dx$$

Нижня границя цього інтегралу $X_1 = \frac{10 \lg(\frac{1}{\beta}) - \rho_0}{\alpha_\rho}$ виражені в dB

$$\beta_e = \left(\sum_{i=1}^M \beta_i \right) \exp \left[\frac{\gamma^2 (\alpha^2 - \alpha_e^2)}{2} \right]$$

$$\alpha_p^2 = \alpha^2 + \alpha_e^2$$

$$\alpha_e^2 = \frac{1}{\gamma^2} \ln \left\{ [1 + \exp(\gamma^2 \alpha^2) - 1] \frac{\sum_{i=1}^2 \beta_i^2}{(\sum_{i=1}^2 \beta_i)^2} \right\}$$

де, $\gamma = 0.02 \ln 10 = 0.046$

Розглянемо випадок для направленої антени, де $\varphi = 120^\circ$, $N_s = \text{три}$, $\beta_1 = (q + 0.7)^{-4}$,

$\beta_2 = q^{-4}$. Виберемо $C=3$. $q = \sqrt{3 \cdot 3} = 3$

Знайдемо α_e^2

					МРП.171.081.006 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

$$\alpha_e^2 = \frac{1}{0.046^2} \ln \left\{ [1 + \exp(0.046^2 5^2) - 1] \frac{\sum_{i=1}^2 \beta_i^2}{(\sum_{i=1}^2 \beta_i)^2} \right\} = 15.265 \text{ dB}$$

Звідси $\alpha_e = \sqrt{15.265} = 3.907 \text{ dB}$,

$$\alpha_p = \sqrt{5^2 - 3.907^2} = 3.12 \text{ dB}$$

$$\beta_e = \left(\sum_{i=1}^2 \beta_i \right) \exp \left[\frac{0.046^2 (5^2 - 3.907^2)}{2} \right] = 0.0215 \text{ dB}$$

Знайдемо нижню границю Q-можливості

$$X_1 = \frac{10 \lg \left(\frac{1}{0.0215} \right) - 10}{3.12} = 2.11$$

З таблиці маємо величину 0.0178. Отримуємо $p(C) = 0.0178 \cdot 100 = 1.78$ Отримане значення нижче $P_c/P_{\text{ш}}(\rho_0)$, значить даний тип антени є найбільш оптимальним.

Розрахунок пропускної здатності мережі

Пропускна здатність мережі системи полягє на середніх значеннях спектральної ефективності території в певних умовах.

Вона визначає швидкість руху інформації у деякій смузі частот. Спектральна ефективність систем мобільного зв'язку представляє собою коефіцієнт, що розраховується як відношення швидкості перенесені даних на 1 Гц смуги частот (bit / с / Гц), що споживається. Ширина смуги частот для частотного виду дуплексу FDD в основі 3GPP Release 9 для різноманітних конфігурацій MIMO дорівнює 20 МГц.[4] Середня спектральна ефективність для мережі LTE, представлена в таблиці 1.

Таблиця три.1

Середня спектральна ефективність для мережіLTE

Лінія	Схема MIMO	Середня спектральна ефективність (bit/c/Гц)
UL(висхідна)	1×2	1,254
	1×4	1,829
DL(низхідна)	2×2	2,93
	4×2	3,43
	4×4	4,48

Середню пропускну здатність 1-го сектора БС для системи FDD можна отримати шляхом множення ширини каналу на спектральну ефективність каналу: $R = S \times W$

де, S – середня спектральна ефективність (bit/c/Гц); W – ширина каналу (МГц); $W = 10$ МГц.

Для лінії DL:

$$R_{DL} = 3,43 \times 10 = 34,3 \text{ Mbit/c.}$$

Для лінії UL:

$$R_{UL} = 1,829 \times 10 = 18,29 \text{ Mbit/c.}$$

Для того щоб обчислити пропускну здатність БС R_{eNB} , помножимо кількість секторів БС на пропускну здатність 1-го сектора, в однієї БС eNB число секторів дорівнює трьом, формула буде виглядати наступним чином:

$$R_{eNB} = R_{DL/UL} \times 3$$

$$\text{Для лінії DL: } R_{eNB \text{ DL}} = 34,3 \times 3 = 102,9 \text{ Mbit/c.}$$

$$\text{Для лінії UL: } R_{eNB \text{ UL}} = 18,29 \times 3 = 54,87 \text{ Мбит/с.}$$

Після встановимо **кількість Кн $N_{к.сек}$, необхідних для сервісу клієнтів в 1-му секторі 1-го стільника:** $N_{к.сек} = \left\lceil \frac{N_k}{(N_{кл} \times M_{сек})} \right\rceil$,

де, N_k – загальна кількість Кн; N_k – розмірність кластера, встановлюється з урахуванням кількості секторів eNB, виберемо рівним три; $M_{сек}$ – кількість секторів eNB, приймемо рівним три.

$$N_{к.сек} = \left\lceil \frac{444}{(3 \times 3)} \right\rceil \approx 49 \text{ Кн}$$

Обчислимо кількість Кн трафіку в одному секторі однієї стільники $N_{кт.сек}$, яке розраховується за формулою $N_{кт.сек} = N_{кт1} \times N_{к.сек}$,

де, $N_{кт1}$ - кількість Кн трафіку в одному радіоканалі, яке встановлюється стандартом радіодоступу (для OFDMAN $N_{кт1} = 1 \dots 3$), для LTE виберемо $N_{кт1} = 2$.

$$N_{кт.сек} = 2 \times 49 = 98 \text{ Кн}$$

Відповідно до моделі Ерланга відображеної у вигляді графіка на малюнку, встановимо номінальне навантаження в секторі однієї стільники $A_{сек}$ при можливіму значенні ймовірності модульовування дорівнює 2% і обчисленим вище значенні $N_{(кт.сек)}$. Встановимо, то що $A_{сек} = 84 \text{ Ерл}$

					МП.171.081.006 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

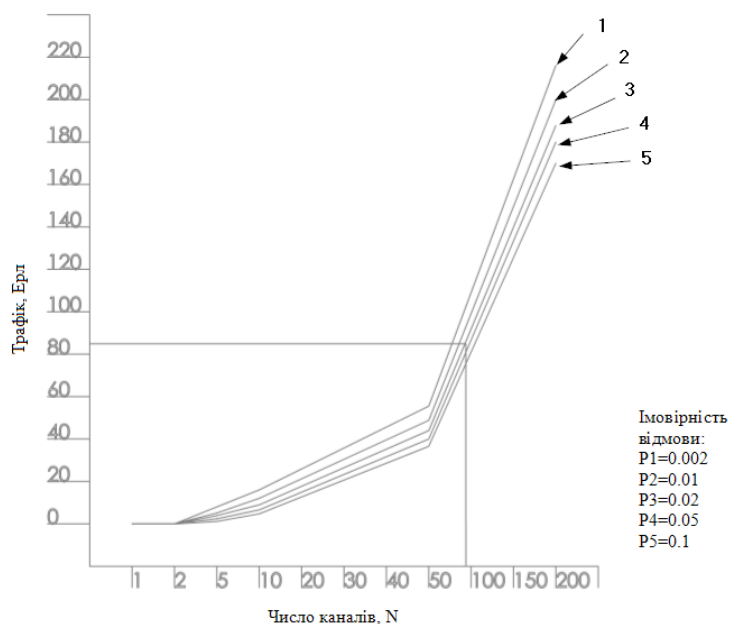


Рис.3.1 – Залежність допустимого навантаження в секторі від кількості K_n трафіку і ймовірності модулювання

Кількість потенційних клієнтів.

Кількість клієнтів, яке буде обслуговуватися однією базовою станцією, розраховується за такою формулою: $N_{аб.еNB} = M_{сек} \times \left[\frac{A_{сек}}{A_1} \right]$,

де, A_1 - середня за всіма видами трафіку клієнтське навантаження від 1-го клієнта, значення A_1 може становити (0,04 ... 0,2) Ерл. Так як проектується мережа планується використовуватися для високошвидкісного обміну інформацією, то значення A_1 приймемо рівним 0,2 Ерл. Таким чином: $M_{сек}$ - кількість секторів на одній базовій станції; $A_{сек}$ - номінальне навантаження в секторі 1-го стільника. [2]

$$N_{аб.еNB} = 3 \times \left[\frac{84}{0.2} \right] = 1260 \text{ клієнтів}$$

Таблиця три.2

Основні п-три системи GSM типуLTE

Ширина каналу	10 МГц
Тк	10 мс
Максимальна потужність сигналу $P_{с.мах}$	-30 dBm=1мкВт
Мінімальна потужність сигналу $P_{с.мін}$ (при якій забезпечується нормальна робота)	-85 dBm=3,16пкВт
Середня потужність сигналу $P_{с.сер.}$	-50 dBm=0,01мкВт
Відношення максимальних значень корисного сигналу до шуму $P_{с.мах}/P_{ш.мах}$	30 dB

Відношення мінімальних значень корисного сигналу до шуму $P_{с.мін}/P_{ш.мін}$	10 dB
Відношення середніх значень корисного сигналу до шуму $P_{с.сер}/P_{ш.сер}$	20 dB
Максимальна кількість обонентів $n_{аб.мах}$	1260
Частота викликів $F_{викл}$	2-20
Середньої часу кожного повідомлення $\tau_{с.}$	100 мс
Швидкість перенесені по нисхідних потоках	102,9 Mbit/c
Швидкість перенесені по висхідних потоках	54,87 Mbit/c

Канал зв'язку характеризується трьома параметрами:

1. **ефективно переданою смугою частот каналу P_k** , яку канал здатний пропустити з виконанням вимог до якості перенесені сигналів;
2. **часом T_k** , протягом якого канал надано для перенесені сигналів або повідомлень;
3. **динамічним діапазоном каналу**

$$D_k = 10 \lg \frac{P_{к.макс}}{P_{к.мін}},$$

де, $P_{к.макс}$ –максимальна неспотворена потужність, яка може бути передана по каналу;
 $P_{к.мін}$ - мінімальна потужність сигналу, при якій забезпечується необхідна захищеність від перешкод.[1]

$$D_k = 10 \lg \frac{P_{к.макс}}{P_{к.мін}} = 10 \lg \frac{1 \times 10^{-6}}{3,16 \times 10^{-12}} = 55 \text{ dB}$$

Очевидно, що обмін сигналу з ефективно переданою смугою частот P_c , тривалістю T_c і динамічним діапазоном D_c по каналу з параметрами P_k , T_k і D_k можлива за умови

$$P_k > P_c; T_k > T_c; D_k > D_c. \quad [1]$$

Добуток трьох параметрів каналу $V_k = P_k T_k D_k$ називається **ємністю каналу**. [1]

$$V_k = P_k T_k D_k = 10 \times 10^{-три} \times 10^7 \times 55 = 5,5 \text{ МГц}$$

$$\text{Канал характеризується захищеністю } A_k = 10 \lg \frac{P_{к.мін}}{P_{к.пер}}, \quad [1]$$

$$\text{де, } P_{к.пер} - \text{потужність перешкод в каналі. } A_k = 10 \lg \frac{P_{к.мін}}{P_{к.пер}} = 10 \lg 10 = 10$$

Пропускна здатність каналу зв'язку, що представляє максимально можливу для даного каналу швидкість перенесені інформації, описується наступним виразом:

$$I_k = 3,32 P_k \lg \left(1 + \frac{P_{к.сер}}{P_{к.пер}} \right),$$

де, $P_{к.сер}$ - середня потужність переданого по каналу сигналу. [1]

					МП.171.081.006 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

$$I_k = 3,32 P_k \lg \left(1 + \frac{P_{k.сер}}{P_{k.пер}} \right) = 3,32 \times 10^7 \times \lg 101 = 66,4 \text{ Мбіт/с}$$

Якість будь-якої мережі зв'язку з комутацією Кн визначається ймовірністю (успішністю) проведених з'єднань, що залежить від:

- **кількості клієнтів $n_{аб}$** (рухомих девайсів в радіомережі);
- **частоти викликів $F_{викл.}$** , що представляє кількість дзвінків, що припадають на 1-го клієнта в г1у;
- **середньої часу кожного повідомлення τ_c** . [1]

Зайнятість будь-якої мережі змінюється в залежності від часу доби. Тому продуктивна мережа повинна пропускати потік даних під час найбільшої завантаженості. **Зайнятість каналу** оцінюють в «г1у пік» в процентному відношенні по формулі

$$Y [\%] = \frac{n_{аб} F_{викл} \left[\frac{1}{год} \right] \tau [c]}{\text{триб}},$$

Зайнятість може бути також виражена в Ерлангах (Ерл). В цьому випадку за 1 Ерл прийнята 100% зайнятість каналу безперервним потоком. Зайнятість менше, ніж 100%, виражається десятковим дробом, наприклад, три0% зайнятості становить 0,3 Ерл. $Y [\%] =$

$$\frac{n_{аб} F_{викл} \left[\frac{1}{год} \right] \tau [c]}{\text{триб}} = \frac{1260 \times 20 \times 100 \times 10^{-\text{три}}}{\text{триб}} = 70\%$$

Трафік, що створюється одним джерелом, дорівнює середньому числу одночасних занять протягом однієї г1и і може бути розрахований за формулою

$$Y[Ерл] = \frac{n_{викл} \tau_c}{T},$$

де, $n_{викл}$ - кількість викликів за час Т.

$$Y[Ерл] = \frac{n_{викл} \tau_c}{T} = \frac{20 \times 100 \times 10^{-\text{три}}}{3600} = 0,000556 Ерл = 0,0556\%$$

3.2 Розрахунок панельної антени для GSM станцій з ємнісним живленням

Таблиця 3.3

Основні розраховані п-три панельної антени

П-три	Значення
Поляризація	Кругова (ліва або права)
Діаграма спрямованості	
- Вертикальна площина, max	14.7°
- Горизонтальна площина, max	83.3°
Коефіцієнт підсилення max, dB	24.8
Робочий частотний діапазон, ГГц	2.1 – 2.7
Коефіцієнт стоячої хвилі, max	1.65

Основні переваги панельної антени з ємнісним живленням:

- Невеликі розміри
- Таку антену можна виготовляти великим партіями – як наслідок низька вартість
- Антена може працювати як на прийом так і на перенесення
- Мала кількість деталей зборки
- Антена має ефективне джерело живлення активного елемента – випромінювальної площадки, що не дає можливості виникнення паразитного випромінювання і забезпечує можливість роботи антени в широкому діапазоні частот

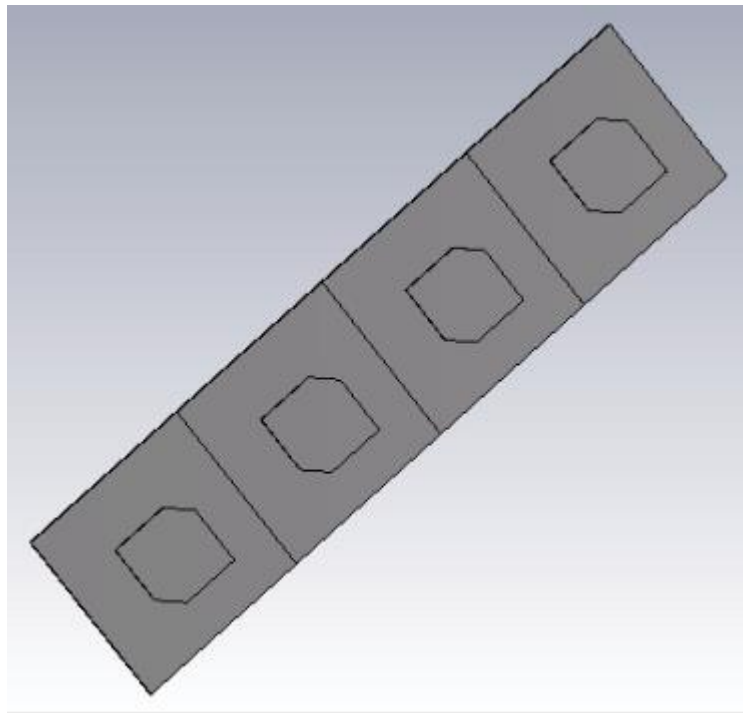


Рис.3.1 Зовнішній вигляд панельної антени

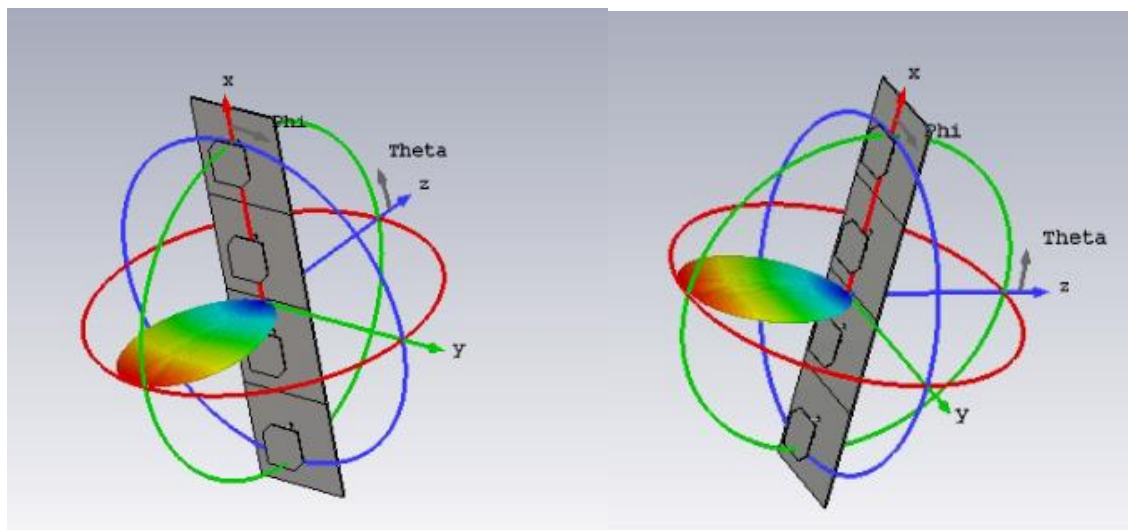


Рис.3.2 Діаграма направленості антени в 3D площині

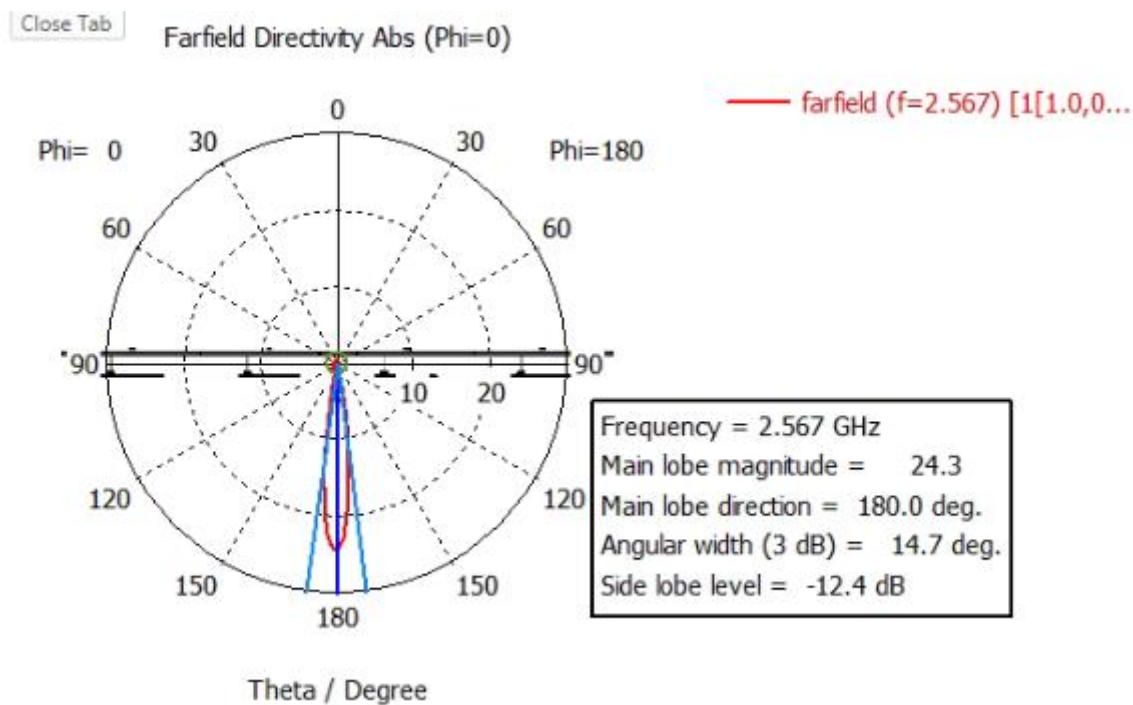


Рис. 3.3 Діаграма направленості антени в вертикальній площині

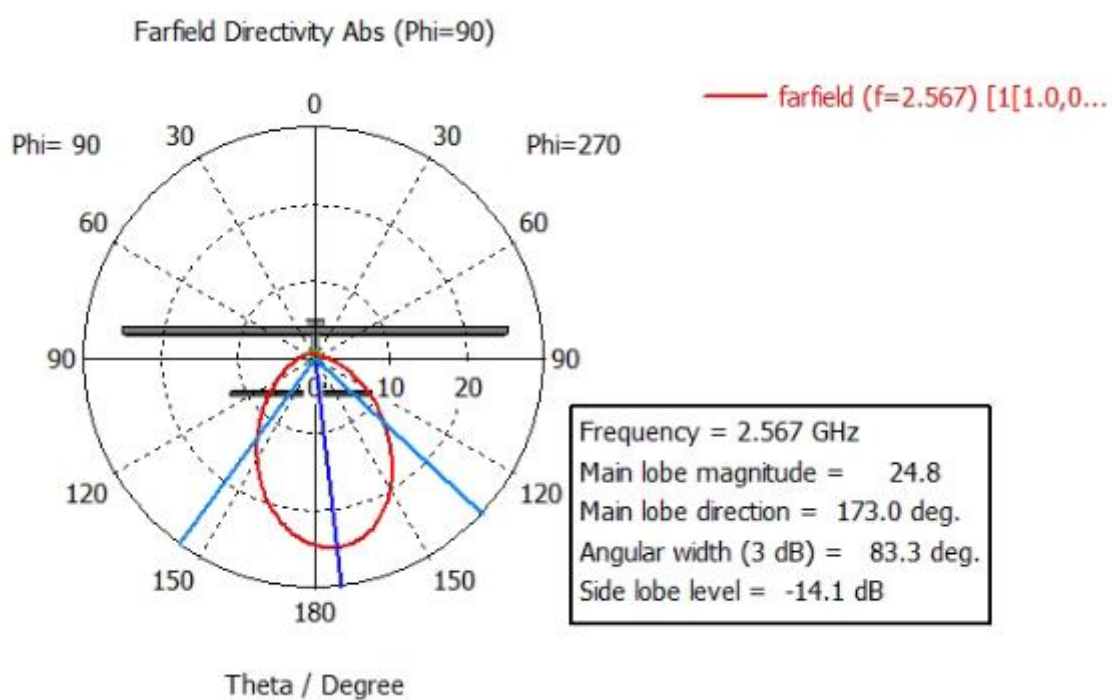


Рис. 3.4 Діаграма направленості антени у горизонтальній площині

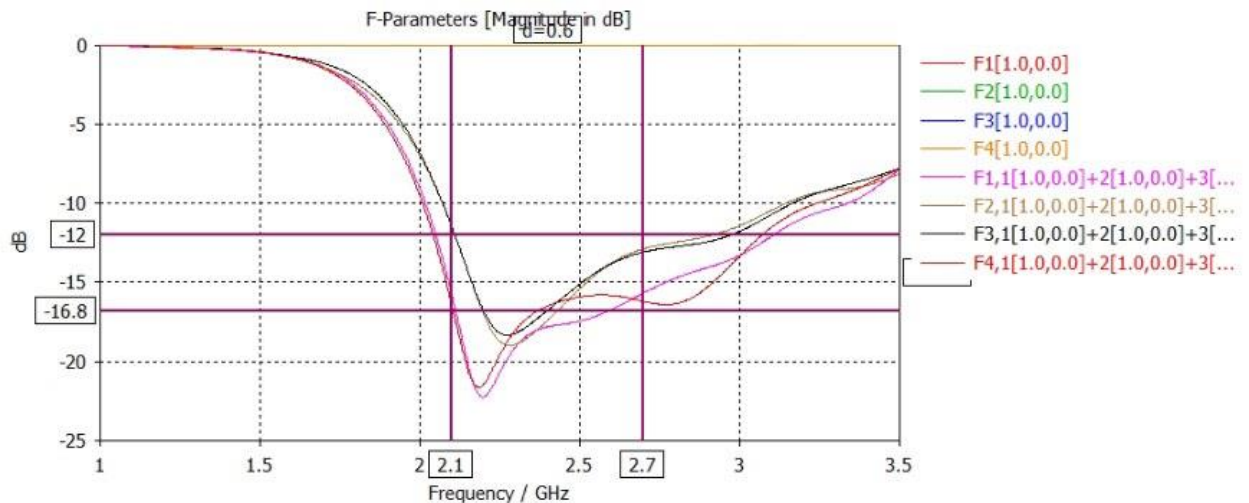


Рис. 3.5 Залежність коефіцієнту стоячої хвилі (втрати) відносно частоти

Висновки: розглянуто характеристику та основні п-три каналу зв'язку і розраховано їх для СЗ типу LTE, так як цей стандарт зв'язку тільки з'являється в Україні і, на мою думку, кожному клієнту буде цікавим дізнатися про це.

Змодельовано панельну антену в діапазоні частот 2.1 – 2.7 ГГц для GSM станцій і розраховано її основні п-три: коефіцієнт стоячої хвилі 1.65, коефіцієнт підсилення 24.8 dB та інші.

4. РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЕКТУ

4.1 Опис ідеї проекту

Опишемо стартап у таблиці:

Таблиця 4.1

Опис ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для клієнта
Для забезпечення роботи девайсів, що потребують передаванні інформації за допомогою бездротових технологій, а саме мобільного зв'язку,	Антенна БС мобільного зв'язку	Дешева технологія виготовлення, компактні габаритні розміри, можливість покриття сигналом більшої зони сервісу
розроблено панельну антену з ефективним живленням активного елементу, яке виключає виникнення паразитного випромінювання і забезпечує можливість роботи антени в широкому діапазоні частот з великим коефіцієнтом підсилення	Так як антенна має широку робочу смугу частот і легко підлаштовується під інші частотні діапазони шляхом змінення точки живлення випромінювального елемента, антенна може бути використана для перенесені ТВ сигналу, радіосигналу і т.д.	Використання в широкому діапазоні частот, великий коефіцієнт підсилення, широка діаграма спрямованості

В наступній таблиці порівняємо переваги та недоліки різних типів антен для базових мобільних станцій: всенаправлену і направлену досліджувану антену.

Таблиця 4.2

Порівняння параметрів двох типів антен

№	П-три	Всенаправлена антена	Панельна антена
---	-------	----------------------	-----------------

			(направлена)
1	Смуга робочої частоти	2100– 2500 МГц	2100 – 2700 МГц
2	Імпеданс	50 або 75 Ом	50 або 75 Ом
три	Діаграма спрямованості	три60 градусів	70 – 90 градусів
4	Коефіцієнт підсилення	2 – 8 dBi	21 – 24 dBi
5	Кросполяризація	-20 dB	-три0 dB
6	Поляризація	Лінійна	Лінійна, Кругова

Як видно з порівняльної таблиці, досліджувана антена має кращі п-три, незважаючи на те, що для забезпечення кругової діаграми спрямованості потрібно щонайменше використати 5 таких панельних антен, її основна перевага у збільшені зони сервісу. В той час, коли антена омні застосовується операторами при необхідності організування покриття в компактних зонах сервісу. Визначення сильних та слабких параметрів ідеї потенційного товару є основою для конкурентоспроможності товари на ринку.

4.2 Технологічний аудит ідеї проекту

Для визначення технологічного аудиту заповнимо наступну таблицю:

Таблиця 4.три

Технологічний аудит проекту

№	Ідея проекту	Технологія її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1	Панельна антена для БТС з ємнісним типом живлення	Реалізація за допомогою програмного забезпечення	Існує велика кількість цифрових процесорів, що здатні виконати аналіз поставленої задачі	Всі необхідні компоненти та ПО знаходяться у вільному доступі
2		Реалізація за допомогою технології виготовлення	Можна виготовити за допомогою технологій фрезерування, лазерної порізки	Всі методи є доступними і можна замовити виготовлення

			і токарки	
Обрана технологія реалізації ідеї проекту: реалізація за допомогою програмного забезпечення, оскільки це більш зручніша і сучасніша технологія.				

4.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

Так як досліджувана антена має велике значення коефіцієнту підсилення та відноситься до панельного типу антен, то попит на використання буде зосереджено в галузі мобільного зв'язку, а саме для використання даної антени як антени для БТС. Оскільки антени є невід'ємною частиною в при побудові мобільних мереж, то й пристрої, що дозволяють працювати в цій мережі будуть актуальними. Розроблена антена дозволяє покрити більшу зону сервісу, що у свою чергу збільшує кількість клієнтів. Тому, на мою думку, мобільні оператори обов'язково звернуть на неї увагу.

Отже, на мою думку, стартап-проект розробки компактної панельної антени з емнісною схемою живлення має хороші ринкові можливості для запуску і цілком може бути успішним, якщо прикласти зусилля для підтримки його конкурентоспроможності.

ВИСНОВКИ:

					МП.171.081.006 ПЗ	Арк.
						68
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У результаті виконання дипломної роботи «Системи мобільного зв'язку» дійшли наступних висновків.

1. Розглянуто загальну структурну схему електронної системи, яку можливо переробити в систему мобільного зв'язку.
2. Проаналізувавши функціональну схему мобільного зв'язку та її складові, визначили три основних складові: мобільну станцію, базову станцію та центр комутації. Кожен із них складається з великої кількості складових та має свої певні можливості. МС повинна перетворити сигнал в цифрову форму, правильно його обробити і відправити на БС, тобто володіє функціями трансформування, обробки та відправлення інформації. БС також володіє цими функціями, але вона також повинна без спотворень прийняти цей сигнал. ЦК в свою чергу забезпечує зв'язок між усіма БС.
3. Розглянувши ЕІ дійшли висновку, що він забезпечує зв'язок МС з БС, БС – з ЦК, Пм і Пд, ЦК – з домашнім регістром, з гостьовим регістром, з регістром апаратури та є основою для роумінгу. Також визначили основні переваги та недоліки ССЗ типу GSM та D-AMPS(див. табл.1.1).
4. Організація роботи ССЗ полягає у правильному функціонуванні трьох типів Кн: частотного (виділяє смугу частот для перенесені 1-го КЗ), логічного (обмін мовлення та інформації контролювання) та фізичного (ущільнення Кн). Також важливими є процес ініціалізації – запуску і настройці МС на роботу у складі системи по сигналах; встановлення зв'язку – тобто отримання МС виклику, при якому відбувається ідентифікація (процедура ототожнення МС), далі МС відповідає на нього через БС, передаючи одночасно показники, необхідні для процедури уатентифікації. Одним із ключових аспектів ССЗ є роумінг – функція перенесені послуг СЗ клієнту 1-го оператора в системі іншого. Розглянуто основні можливості СЗ: перенесені (обмін інформацією), телеможливості (обмін мовлення та повідомлень) та додаткові (ідентифікація і відображення номеру, конференція, чекання виклику і т.д.).
5. Проаналізовано три методи МД: з часовим, частотним і кодовим розділенням, а також методи підвищення ємності системи мобільного зв'язку. Найбільш переваг має метод CDMA, основні з яких: скритність, надійність і висока перешкодостійкість. Основна ознака методу CDMA - це робота в широкій смузі частот, що значно перевищує смугу сигналу мовлення, в поєднанні з таким шифруванням інформації кожного з ФК, яке дозволяє виділяти їх із загальної широкої смуги, що застосовується одночасно всіма ФК.
6. Цифрова обробка сигналів (ЦОС) - важливий елемент в апаратурній реалізації принципів СЗ. Тільки в цифровій формі виявляється можливим використання економічного (з усуненням надмірності) шифрування мовлення, ефективного канального шифрування з високим ступенем захисту від помилок, методів боротьби з багатопроменевим поширенням. Розглянуто важливу главу для перенесені сигналів – шифрування мовлення. Порівняно дві ССЗ типу GSM та D-AMPS та визначено, що ССЗ типу GSM має ряд переваг (див. табл.1.5).
7. Досліджено основні методи боротьби з багатопроменевим розповсюдженням (рознесений прийом, а саме з рознесенням в просторі (space diversity), тобто з прийомом сигналів на кілька просторово рознесених антен - це єдиний метод, що знаходить практичне застосування), адже на шляху сигналу трапляється безліч перешкод (будинки, скалиста місцевість, дерева і т.д.), а для клієнтів, насамперед, важливим є якість зв'язку.

					МП.171.081.006 ПЗ	Арк.
						69
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

8. Для клієнтів головним є правильне функціонування, насамперед, МС, адже вона безпосередньо знаходиться у них в руках, тому розглянуто модуль-схему МС, її основні компоненти та їхні можливості.
9. Розраховано п-три для побудови лінії мобільного зв'язку типуLTE. Стільникова система радіозв'язку типуLTE-2600 має більш високу пропускну здатність, ніж попередники, більшу кількість Кн більш для однієї BTS і меншу можливість переривання виклику. СтандартLTE має велику ємність мережі з високою захищеністю каналу, що важливо для великих міст з високою скупченістю людей. Менша зайнятість каналу зв'язку в час пік в порівнянні з попередниками, наприклад зайнятість каналу для GSM-1800 становить 91%. Розрахована система більш надійна, має стійкі х-ки та забезпечує надійне покриття в швидку перенесення даних.
10. Змодельовано панельну антену, яка має ємнісне живлення, яке виключає ймовірність паразитного випромінювання і забезпечує можливість роботи антени в широкому діапазоні частот. Антена у порівнянні з її аналогами має більший коефіцієнт підсилення, який становить 24 dB, характеризується круговою поляризацією, коефіцієнт стоячої хвилі антени становить 1,65.

					МП.171.081.006 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		70

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНОЇ НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Ратынский М.В. Основы сотовой связи / Под ред. Д.Б. Зимина.-2-е изд., перераб. и доп.- М.: Радио и связь, 2000.- 248с.: ил.
2. Денбовецький С.В. Електронні системи [Текст] : навч. посіб. / С.В. Денбовецький, О.В. Лецишин.- К.: НТУУ «КПІ», 2011.- С.205-276.
3. Травин Г.А. Основы схемотехники устройств радиосвязи, радиовещания и телевидения: Учеб. Пособие / Г.А. Травин. – М.: Высш. шк., 2007. – С. 215-46три.
4. Белкин М.К. Справочник по учебному проектированию приемо-усилительных устройств / М.К. Белкин, В.Т. Белинский, Ю.Л. Мазор, Р.М. Терещук. – 2-е изд. – К.: Выща шк. Головное изд-во, 1988. – С. 269-300.
5. Карташевский В.Г. Сети подвижной связи / В.Г. Карташевский, С.Н. Семенов, Т.В. Фирстова. – М.: Эко-Трендз, 2001.
6. Бойко М.П. Системы мобільного зв'язку: Конспект лекцій.- Одеса: ОНАЗ, 2004 – 76 с.
7. Попов В.И. Основы сотовой связи стандарта GSM / В.И. Попов.- М.: Эко-Трендз, 2005 - 296 с.
8. Закиров С. Г. Сотовая связь стандарта GSM. Современное состояние, переход к сетям третьего поколения / С.Г. Закиров, А.Ф. Надев, Р.Р. Файзуллин.- М.: Эко-Тренд. 2004. 264 с.
9. Громаков Ю.А. Стандарты и системы подвижной радиосвязи / Ю.А. Громаков.- М.: Эко-Тренд. 2000 г. 240 с.
10. БурневВ.Б. Электронный учебник по системе сотовой связи с временным разделением каналов стандарта GSM.—Режим доступа: http://study.ustu.ru/view/aid_view.aspx?AidId=50
11. GSM [Электронный ресурс].—Режим доступа: https://en.wikipedia.org/wiki/Code-division_multiple_access
12. Code-division multiple access [Электронный ресурс].—Режим доступа: https://en.wikipedia.org/wiki/Code-division_multiple_access
13. Time-division multiple access [Электронный ресурс].—Режим доступа: https://en.wikipedia.org/wiki/Time-division_multiple_access
14. Frequency-division multiple access [Электронный ресурс].—Режим доступа: https://en.wikipedia.org/wiki/Frequency-division_multiple_access
15. Структура и организация мобильной связи [Электронный ресурс].—Режим доступа: <http://docplayer.ru/docview/17/187877/#file=/storage/17/187877/187877.pdf>
16. LTE [Электронный ресурс].—Режим доступа: <https://uk.wikipedia.org/wiki/LTE>—
17. Швидкісний мобільний інтернет 4G від Київстар [Електронний ресурс]. —Режим доступу: <https://kyivstar.ua/uk/4g>
18. 4G vs LTE: What's the difference? [Електронний ресурс].—Режим доступу: <https://www.techadvisor.co.uk/feature/mobile-phone/4g-vs-lte-whats-the-difference-три605656>

					МП.171.081.006 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		71

19. “3G Evolution: HSPA and LTE for Mobile Broadband” by Erik Dahlman and Stefan Parkvall [Електронний ресурс]. —Режим доступу:
[http://read.pudn.com/downloads150/ebook/650690/триG%20Evolution% 20HSPA%20and%20LTE%20for%20Mobile%20Broadband.pdf](http://read.pudn.com/downloads150/ebook/650690/триG%20Evolution%20HSPA%20and%20LTE%20for%20Mobile%20Broadband.pdf)
20. “Cellular Mobile Communications” by V S Bagad [Електронний ресурс].—Режим доступу: <https://ihywon.files.wordpress.com/2015/01/cellular-mobile-communications.pdf>
21. Організація роботи системи мобільного (стільникового) зв’язку [Електронний ресурс].—Режим доступу: <http://um.co.ua/10/10-8/10-88879.html>

					МП.171.081.006 ПЗ	Арк.
						72
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		